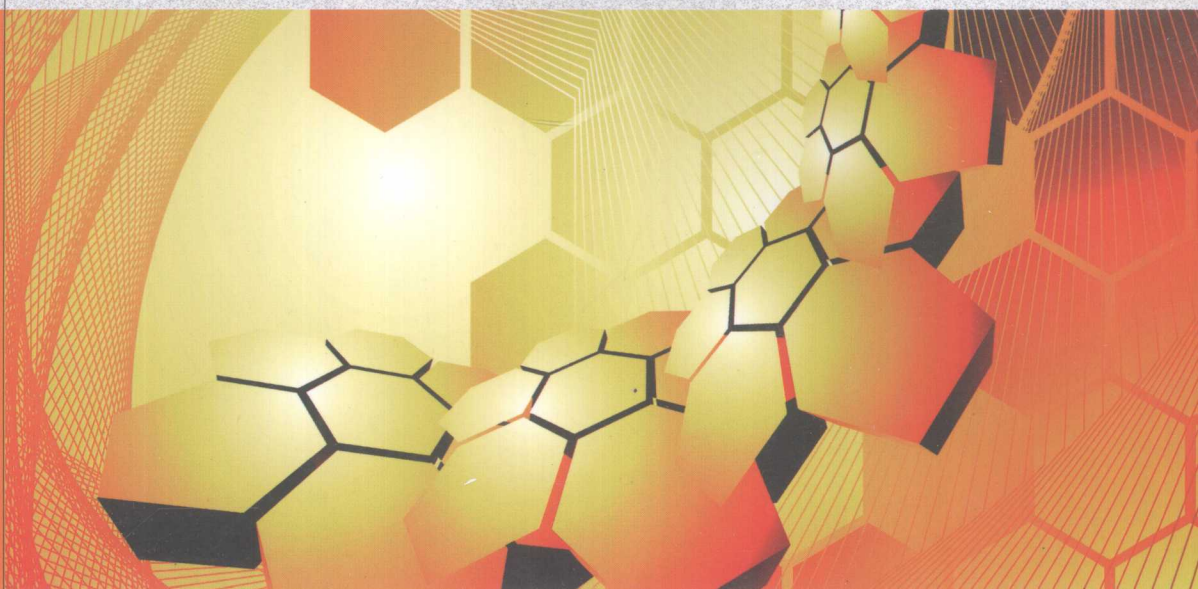


熊和金 等编著

智能信息处理

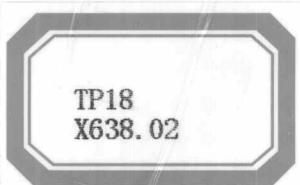
(第2版)



ZHINENG
XINXI CHULI



国防工业出版社
National Defense Industry Press



郑州大学 *04010790538.*

智能信息处理

(第2版)

熊和金 彭文菁 陈德军 编著



国防工业出版社

·北京·

TP18
X638.02

内 容 简 介

智能信息处理在复杂系统建模、系统分析、系统决策、系统控制、系统优化和系统设计等领域具有广阔的应用前景。

本书介绍模糊信息处理、神经网络信息处理、云信息处理、可拓信息处理、粗集信息处理、遗传算法、蚁群算法、免疫算法、信息融合、量子智能信息处理、粒子群优化算法和 DNA 算法。

本书除供智能信息处理与智能控制技术研究人员参考外,还可作为相关专业研究生教材和大学高年级选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

智能信息处理/熊和金等编著. —2 版. —北京:国防工业出版社,2012. 8

ISBN 978-7-118-07946-3

I. ①智... II. ①熊... III. ①人工智能—信息处理 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 124483 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19½ 字数 441 千字

2012 年 8 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

智能信息处理是模拟人或自然界其他生物处理信息的行为,建立处理复杂系统信息的理论、算法,以及系统的方法、技术。智能信息处理主要面对不确定性系统和不确定性现象。智能信息处理在系统建模、系统分析、系统决策、系统控制、系统优化和系统设计等领域具有广阔的应用前景。

本书介绍模糊信息处理、神经网络信息处理、云信息处理、可拓信息处理、粗集信息处理、遗传算法、蚁群算法、免疫算法、信息融合、量子智能信息处理、粒子优化算法和 DNA 算法。

本书得以成稿,特别需要感谢众多专家学者扎实而富有创造性的工作,是他们的研究成果为本书提供了广泛而精深的写作素材。

智能信息处理理论与技术经过 40 多年的发展研究,成果丰硕。尽管我们悉心工作,反复琢磨,但是由于水平所限,一定存在不妥之处,恳请广大读者予以指正。

编著者
2012 年 5 月

目 录

第1章 模糊信息处理	1
1.1 电气设备故障诊断模糊模型	1
1.1.1 故障诊断模糊化的必要性	1
1.1.2 三比值法模糊化处理	1
1.1.3 举例说明	4
1.1.4 模糊故障诊断要点及评判结论	4
1.2 多目标模糊优化方法	5
1.2.1 多目标优化问题	5
1.2.2 多目标结构模糊优化问题的解法	5
1.2.3 隶属函数选取时对优化结果的影响	6
1.2.4 数值实例	8
1.3 数据处理的模糊熵方法	10
1.3.1 模糊事件的熵	10
1.3.2 用基于熵的模糊方法评定测量结果	11
1.3.3 实例分析	11
1.4 自适应模糊聚类分析	12
1.4.1 基本的FCM聚类算法	12
1.4.2 自适应模糊C均值聚类算法	13
1.4.3 应用实例	13
1.5 模糊关联分析	14
1.5.1 模糊综合评价分析	14
1.5.2 模糊关联分析法原理与方法	14
1.5.3 实例研究	16
1.6 模糊信息优化方法	17
1.6.1 模糊信息优化处理概述	17
1.6.2 模糊信息优化处理的基本理论	18
1.6.3 黄土湿陷性评价实例分析	19
1.7 模糊多属性决策的模糊贴近度方法	19
1.7.1 模糊多属性决策	19
1.7.2 模糊多属性决策模型	20
1.7.3 模糊多属性决策的模糊贴近度解法	20

1.7.4	算例分析	21
1.8	信息不完全确知的模糊决策集成模型	22
1.8.1	信息不完全确知的多目标决策	22
1.8.2	I^2DM 模糊决策集成模型	22
1.8.3	I^2DM 模糊决策集成模型分析	25
1.9	模糊 Petri 网	26
1.9.1	Petri 网	26
1.9.2	基于模糊 Petri 网模型的知识描述	26
1.9.3	基于模糊 Petri 网的推理算法	28
1.9.4	推理实例	29
第 2 章	神经网络信息处理	31
2.1	神经网络一般模型	31
2.1.1	神经网络模型	31
2.1.2	神经网络学习算法	31
2.1.3	神经网络计算的特点	32
2.2	BP 神经网络模型	33
2.2.1	BP 神经网络学习算法	33
2.2.2	BP 神经网络建模	34
2.3	贝叶斯神经网络	35
2.3.1	传统神经网络和贝叶斯方法	35
2.3.2	神经网络的贝叶斯学习	35
2.3.3	贝叶斯神经网络算法	37
2.4	RBF 神经网络	37
2.4.1	RBF 神经网络的特点	37
2.4.2	RBF 神经网络的结构与训练	37
2.4.3	高速公路 RBF 神经网络限速控制器	39
2.5	贝叶斯—高斯神经网络非线性系统辨识	39
2.5.1	BPNN 分析	39
2.5.2	BG 推理模型和 BGNN	40
2.5.3	BGNN 的自组织过程	42
2.5.4	仿真研究	42
2.6	广义神经网络	43
2.6.1	智能神经元模型	43
2.6.2	广义神经网络模型及学习算法	45
2.6.3	交通流预测模型	45
2.7	发动机神经网络 BP 算法建模	45
2.7.1	发动机性能曲线神经网络处理方法	45

85	2.7.2	发动机神经网络辨识结构	46
95	2.8	组合灰色神经网络模型	49
95	2.8.1	灰色预测模型	49
08	2.8.2	灰色神经网络预测模型	51
08	2.8.3	电力远期价格预测	52
	第3章	云信息处理	54
88	3.1	隶属云	54
88	3.1.1	模糊隶属函数	54
88	3.1.2	对隶属函数的质疑	54
08	3.1.3	隶属云定义	55
10	3.1.4	隶属云的数字特征	55
10	3.1.5	隶属云发生器	56
50	3.1.6	隶属云发生器的实现技术	58
80	3.2	云滴与云滴生成算法	59
80	3.2.1	云滴	59
80	3.2.2	云滴生成算法	59
80	3.3	云计算	60
80	3.3.1	云模型与不确定推理	60
00	3.3.2	云计算原理	62
00	3.3.3	云计算过程	62
00	3.3.4	云计算的系统实现	65
101	3.4	定性规则的云表示	65
101	3.4.1	二维云模型	65
801	3.4.2	二维云及多维云生成算法的改进	66
801	3.4.3	定性规则的云模型表示	67
801	3.4.4	定性规则的统一表示	70
801	3.5	云综合评判模型	71
801	3.5.1	综合评判	71
701	3.5.2	云综合评判	71
801	3.5.3	应用实例	72
801	3.6	云决策树	73
811	3.6.1	决策树方法	73
811	3.6.2	基于云理论的神经网络映射学习	73
811	3.6.3	云决策树的生成和应用	76
811	3.7	定性预测系统的建模	77
811	3.7.1	二维云算法	77
811	3.7.2	算法描述及实现机制	77

04	3.7.3 算法步骤	78
04	3.8 三级倒立摆的云控制	79
04	3.8.1 三级倒立摆	79
10	3.8.2 云推理	80
52	3.8.3 倒立摆的智能控制试验与分析	80
42	3.8.4 试验结果分析	81
	第4章 可拓信息处理	83
40	4.1 可拓学概述	83
42	4.1.1 可拓学的研究对象、理论框架和方法体系	83
22	4.1.2 可拓工程思想、工具和方法	86
22	4.2 集装箱生成量可拓聚类预测	91
02	4.2.1 集装箱生成量可拓聚类预测的建模机制	91
82	4.2.2 可拓聚类预测的物元模型	92
02	4.2.3 集装箱生成量可拓聚类预测的物元模型	93
02	4.3 可拓故障诊断模型	95
02	4.3.1 变压器故障诊断	95
00	4.3.2 变压器故障可拓诊断	95
00	4.3.3 实例研究	98
50	4.4 可拓层次分析法	99
50	4.4.1 层次分析法分析	99
20	4.4.2 可拓区间数及其运算	99
20	4.4.3 可拓区间数判断矩阵及其一致性	101
20	4.4.4 可拓层次分析	101
00	4.4.5 实例算法	103
50	4.5 可拓控制策略	103
05	4.5.1 可拓控制的提出	103
15	4.5.2 可拓控制器的结构	103
15	4.5.3 可拓控制器的设计	104
15	4.5.4 仿真与展望	107
55	4.6 可拓理论新应用	108
85	4.6.1 基于可拓学的交通换乘收益分配	108
05	4.6.2 可拓理论在物流系统中的应用	113
85	4.6.3 可拓理论在城市电网规划中的应用	113
05	4.6.4 可拓理论在煤矿安全中的应用	114
	第5章 粗集信息处理	116
55	5.1 粗集理论基础	116
55	5.1.1 粗集理论的提出	116

441	5.1.2 等价类	116
441	5.1.3 知识的约简	118
441	5.2 粗糙模糊集合	118
241	5.2.1 粗集与模糊集合分析	118
041	5.2.2 模糊粗集	120
041	5.2.3 知识近似模型的统一	121
741	5.3 粗集神经网络	122
841	5.3.1 Rough - ANN 结合的特点	122
041	5.3.2 决策表简化方法	122
041	5.3.3 粗集神经网络系统	123
121	5.4 贝叶斯分类器粗集算法	124
521	5.4.1 简单贝叶斯分类	125
821	5.4.2 基于粗集的属性约简方法	125
621	5.4.3 基于粗集的贝叶斯分类器算法	126
421	5.4.4 试验结果	128
221	5.5 系统评估粗集方法	129
021	5.5.1 系统评估粗集方法的特点	129
021	5.5.2 系统综合评估粗集方法	129
821	5.5.3 建立评估体系的粗集方法	130
821	5.5.4 试验验证	131
001	5.6 文字识别的粗集算法	132
001	5.6.1 模式识别与粗集方法	132
001	5.6.2 文字粗集表达与知识简化	133
121	5.6.3 基于粗集理论方法的文字识别	133
501	5.7 图像中值滤波的粗集方法	135
201	5.7.1 基本依据	135
801	5.7.2 粗集中值滤波	135
401	5.7.3 试验结论和讨论	136
201	第6章 遗传算法	137
001	6.1 遗传算法基础	137
001	6.1.1 遗传算法的历史	137
701	6.1.2 遗传算法的基本原理	137
701	6.1.3 遗传算法数学基础分析	139
001	6.2 遗传算法分析	141
571	6.2.1 遗传算法结构分析	141
571	6.2.2 基因操作	141
871	6.2.3 遗传算法参数选择	143

6.3	TSP 问题的遗传算法解	144
6.3.1	问题的分析	144
6.3.2	遗传算法算子	144
6.3.3	算法与试验	145
6.4	神经网络的遗传学习算法	146
6.4.1	遗传算法形式化描述	146
6.4.2	遗传学习算法之一	147
6.4.3	遗传学习算法之二	148
6.5	复数编码遗传算法	149
6.5.1	复数编码遗传算法的基本原理	149
6.5.2	基于神经网络的控制结构	151
6.5.3	机器人竞争性协进化仿真	152
6.6	并行遗传算法	153
6.6.1	遗传算法并行化的必要性	153
6.6.2	并行选择过程	154
6.6.3	并行遗传算法的设计方案	155
6.7	回溯遗传算法	156
6.7.1	回溯机制	156
6.7.2	回溯遗传算法的特点	158
6.7.3	回溯 GA 仿真实例	158
第 7 章	蚁群算法	160
7.1	蚁群算法原理	160
7.1.1	基本原理	160
7.1.2	蚁群系统模型及其实现	161
7.2	ant - cycle 算法	162
7.3	自适应蚁群算法	163
7.3.1	基本蚁群算法分析	163
7.3.2	蚁群算法自适应改进	164
7.3.3	仿真结果	165
7.4	遗传算法与蚁群算法的融合	166
7.4.1	遗传算法与蚁群算法分析	166
7.4.2	全局优化蚁群算法	167
7.4.3	遗传蚁群算法	167
7.4.4	仿真试验结果	169
7.5	组合优化的蚁群算法	172
7.5.1	路径优化问题	172
7.5.2	最优树问题	174

105	7.5.3 软件实现	175
805	7.6 连续优化问题的蚁群算法	175
805	7.6.1 无约束非线性最优化问题	175
405	7.6.2 连续优化问题的蚁群算法	175
205	7.6.3 计算实例	176
805	7.7 系统辨识的蚁群算法	177
505	7.7.1 连续空间寻优的蚁群算法回顾	177
505	7.7.2 系统蚁群辨识算法	178
805	7.7.3 实例研究及仿真结果	181
015	7.8 聚类问题的蚁群算法	182
115	7.8.1 数学模型	182
115	7.8.2 K -均值算法	183
115	7.8.3 模拟退火算法	183
515	7.8.4 蚁群算法	184
815	7.8.5 算法比较	184
815	7.9 函数优化蚁群算法	185
415	7.9.1 函数优化的蚁群模型	185
215	7.9.2 典型测试函数应用实例	187
215	7.10 蚁群神经网络	188
815	7.10.1 基于蚁群算法的神经网络训练	188
815	7.10.2 蚁群神经网络算法步骤	188
815	7.10.3 计算机仿真试验	189
815	7.11 智能蚁群算法	189
915	7.11.1 蚁群算法缺陷	189
055	7.11.2 智能蚁群模型	190
055	7.11.3 参数设定及结果	191
055	第8章 免疫算法	193
855	8.1 免疫算法基础	193
455	8.1.1 遗传算法的缺憾	193
455	8.1.2 免疫算法的生物学基础	193
255	8.1.3 免疫算法及其收敛性	194
855	8.1.4 免疫算子的机理与构造	196
555	8.1.5 免疫算子的执行算法	197
955	8.1.6 免疫疫苗的选取示例	197
085	8.1.7 TSP 问题的免疫算法求解	198
085	8.2 免疫算法的设计	200
085	8.2.1 免疫算法结构	200

251	8.2.2 算法设计与实现	201
173	8.3 多目标 Flow-shop 问题的免疫算法	203
251	8.3.1 生产调度问题	203
173	8.3.2 免疫调度算法	204
179	8.3.3 工程应用	205
173	8.3.4 免疫算法参数对优化效果的影响	206
173	8.4 路径免疫规划算法	207
851	8.4.1 系统描述	207
181	8.4.2 算法描述	208
185	8.4.3 仿真试验	210
185	8.5 图像自适应免疫增强算法	211
185	8.5.1 图像增强技术分析	211
181	8.5.2 图像自适应增强	211
181	8.5.3 图像增强的自适应免疫算法	212
181	8.6 电网免疫规划算法	213
281	8.6.1 免疫算法的亲和性	213
281	8.6.2 电网规划免疫算法的基本步骤	214
1781	8.6.3 电网规划免疫模型	215
881	8.6.4 应用实例	215
881	第9章 信息融合	216
881	9.1 多传感器信息融合概述	216
981	9.1.1 历史背景	216
981	9.1.2 多传感器信息融合系统的处理模型	218
981	9.1.3 多传感器信息融合的层次问题	219
991	9.1.4 信息融合的实现方法	220
191	9.2 信息融合模型与算法	220
191	9.2.1 信息融合模型	220
191	9.2.2 信息融合算法	223
191	9.3 贝叶斯信息融合方法	224
191	9.3.1 贝叶斯融合算法模型	224
191	9.3.2 实例分析	225
191	9.4 信息的模糊决策融合算法	226
191	9.4.1 基于模糊决策树算法的融合模型	227
191	9.4.2 应用实例	229
191	9.5 信息融合的 D-S 算法	230
191	9.5.1 互补信息	230
191	9.5.2 D-S 理论基础	230

9.5.3	Dempster 合成法则	231
9.5.4	D-S 证据理论在多信息融合中的应用	231
9.6	信息融合的神经网络模型与算法	232
9.6.1	ANN 信息融合特点	232
9.6.2	信息融合的 MART 模型及算法	233
第 10 章	量子智能信息处理	236
10.1	量子信息论	236
10.1.1	量子计算	236
10.1.2	量子信息论基础	237
10.1.3	量子信息处理	239
10.1.4	量子加密	243
10.1.5	信息论与量子信息论对比	243
10.2	量子神经计算	244
10.2.1	神经计算回顾	244
10.2.2	量子计算与神经计算的结合	245
10.2.3	量子神经信息处理	245
10.2.4	量子神经计算模型	246
10.3	典型量子神经网络模型	248
10.3.1	ANN 概念的量子类比	248
10.3.2	QNN 的物理实现	249
10.3.3	典型的 QNN 模型	250
10.4	量子遗传算法	253
10.4.1	量子遗传算法基础	253
10.4.2	改进量子遗传算法	254
10.4.3	新量子遗传算法	255
10.4.4	分组量子遗传算法	256
10.4.5	量子遗传算法的其他形式	257
第 11 章	粒子群优化算法	258
11.1	粒子群算法基础	258
11.2	PSO 算法的改进	258
11.2.1	带极值扰动的简化粒子群优化算法	258
11.2.2	扩展的相对基粒子群优化算法	259
11.2.3	自我救赎式粒子群优化算法	259
11.2.4	种群动态变化的粒子种群算法	260
11.2.5	MPSO 算法	261
11.3	粒子群算法的应用	262

11.3.1	水、火电力系统短期优化调度的 PSO 算法	262
11.3.2	航天器姿态机动路径规划的 PSO 算法	264
11.3.3	联合火力打击目标分配的 PSO 算法	266
11.3.4	光伏发电系统最大功率跟踪的 PSO 算法	268
11.3.5	弹炮混编防空群火力优化的 PSO 算法	272
第 12 章	DNA 算法	276
12.1	DNA 计算原理	276
12.1.1	DNA 计算产生背景	276
12.1.2	DNA 计算的基本概念	276
12.2	DNA 计算模型的分类	278
12.2.1	双链 DNA 计算模型	278
12.2.2	单链 DNA 或 RNA 模型	278
12.2.3	质粒 DNA 模型	279
12.2.4	表面 DNA 模型	279
12.2.5	粘贴模型	279
12.2.6	剪接模型	280
12.2.7	三维 DNA 模型	280
12.3	DNA 计算的应用	280
12.3.1	基于 DNA 算法的人脸识别	280
12.3.2	基于 DNA 算法的电力系统无功优化	283
12.3.3	基于 DNA 算法的中国邮递员问题	286
12.3.4	基于 DNA 算法的交通诱导系统	290
参考文献		294

第 1 章 模糊信息处理

由 L. A. Zadeh 提出的模糊集合理论与模糊逻辑,是用来度量处理模糊信息和描写分析与设计模糊系统的。他采用精确的方法、精确的公式、精确的模型,刻画、度量、分析那些模糊的、信息不太完整或不太准确的现象与规律,而这些现象与规律通常用人类语言表达,并且在人们之间可以准确地传递有关这些现象与规律等语言信息。

模糊理论与技术经过 40 多年的快速发展,在诸多学科与工程技术领域得到了很好的应用。关于模糊理论与技术的文献和著作很多,本章不从模糊理论的 ABC 介绍,有关这些内容,读者需要时可以参考一些标准的教科书。本章介绍模糊集合理论与模糊逻辑在智能信息处理中若干典型而极富启发性的应用模式,这些应用范例可以为人们解决其他实际问题提供有价值的参考与借鉴。

1.1 电气设备故障诊断模糊模型

1.1.1 故障诊断模糊化的必要性

在电力系统中,由于各种原因不可避免地会产生电气设备的故障。电气设备的故障原因相当复杂,存在大量不确定因素,对于目前使用的故障判断规则有两点不足:一是某些规则过于“精确”,太绝对化;二是某些规则反映故障现象不够全面,难以把握。如以变压器色谱分析的三比值法为例,某变压器发生 150℃ ~ 300℃ 温范围内过热性故障,测得气体含量: $c(H_2) = 180 \times 10^{-6}$, $c(CH_4) = 175 \times 10^{-6}$, $c(C_2H_6) = 75 \times 10^{-6}$, $c(C_2H_4) = 50 \times 10^{-6}$, $c(C_2H_2) = 4 \times 10^{-6}$ 。利用常规的三比值法,可得 C_2H_2/C_2H_4 、 CH_4/H_2 、 C_2H_4/C_2H_6 的编码均为 0,总的编码为“000”,属于无故障。之所以能得出这个结论,是因为三比值法的比值区间分割过于绝对化。解决的方法是,运用模糊数学知识使原来精确划分的区间模糊化。

又如,变压器绝缘受潮有多种因素影响,很难直接根据绝缘体电阻大小做出正确判断,变压器 31℃ 时绝缘电阻为 700MΩ,比出厂值 1700 MΩ 下降 1/2 以上。按照规则“绝缘电阻与历次测量值相比有显著降低,绝缘应不合格”,该变压器出现了绝缘故障。但实际发现,这是由于新注入的变压油绝缘电阻过低造成的,而非绝缘问题。解决的方法是,将绝缘电阻与吸收比试验和介质损耗试验等综合考虑,运用模糊综合评判来解决。

下面介绍徐文等人运用模糊信息处理技术,实现有效的故障诊断方法。

1.1.2 三比值法模糊化处理

该方法是运用 5 种特征气体 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 组成三对比值来判断变压器故障性质。表 1-1 为常规三比值法。由表 1-1 可知, $X = CH_4/H_2$ 的编码为 1 时,特征气

体比值 $\text{CH}_4/\text{H}_2 < 0.1$, 可用隶属函数 u_1 表示, 即

$$u_1 = \begin{cases} 1 (X < 0.1) \\ 0 (X \geq 0.1) \end{cases}$$

表 1-1 常规三比值法

特征气体比值	气体比值范围编码			特征气体比值	气体比值范围编码		
	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$		$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$
<0.1	0	1	0	1~3	1	2	1
0.1~1	1	0	0	>3	2	2	2

表 1-2 为常规三比值法故障描述。

表 1-2 常规三比值法故障描述

序号	故障类型	气体比值范围编码			序号	故障类型	气体比值范围编码		
		$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$			$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$
0	无故障	0	0	0	5	$<150^\circ\text{C}$, 低温过热	0	0	1
1	低能局部放电	0	1	0	6	$150^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$, 低温过热	0	2	0
2	高能局部放电	1	1	0	7	$300^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$, 中温过热	0	2	1
3	低能放电	1~2	1	1~2	8	$>700^\circ\text{C}$, 高温过热	0	2	2
4	高能放电	1	0	2					

模糊化处理, 就是将 u_1 由 1~0 的变化, 由陡变转化为缓慢变化(图 1-1), 即

$$u_1 = \begin{cases} 1 & (X \leq 0.08) \\ e^{-50(X-0.08)} & (X > 0.08) \end{cases}$$

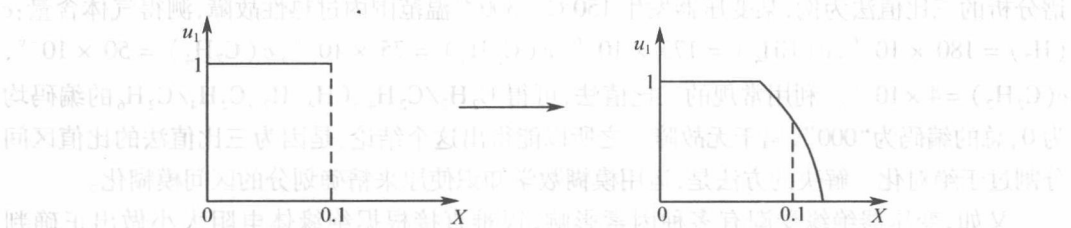


图 1-1 u_1 的模糊化处理示意图($\text{CH}_4/\text{H}_2 = X$)

同理, 当 $X = \text{CH}_4/\text{H}_2$ 的编码为 0 时, 可用隶属函数 u_0 表示取值的隶属函数(图 1-2), 即

$$u_0 = \begin{cases} 0 & (X \leq 0.08) \\ 0.5 + 0.5\sin[25\pi(X - 0.1)] & (X \in (0.08, 0.12]) \\ 1 & (X \in (0.12, 0.9]) \\ 0.5 - 0.5\sin[25\pi(X - 3)] & (X \in (0.9, 1.1]) \\ 0 & (X > 1.1) \end{cases}$$

当 $X = \text{CH}_4/\text{H}_2$ 的编码为 2 时, 可用隶属函数 u_2 表示取值的隶属函数(图 1-3), 即

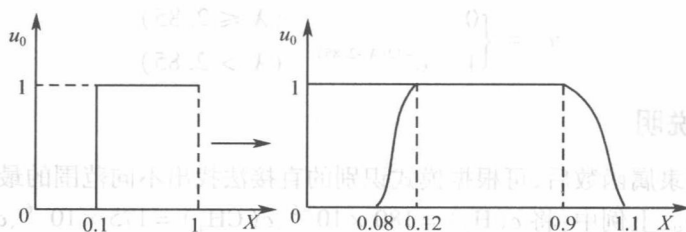


图 1-2 u_0 的模糊化处理示意图

$$u_2 = \begin{cases} 0 & (X \leq 0.85) \\ 1 - e^{-12(X-0.85)} & (X > 0.85) \end{cases}$$

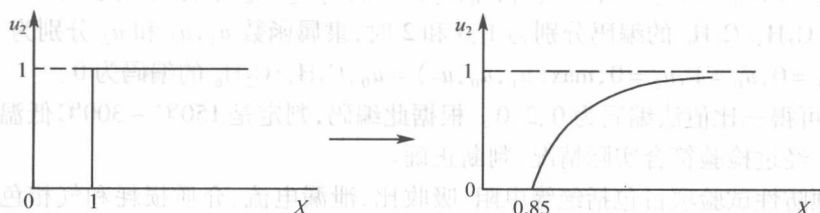


图 1-3 u_2 的模糊化处理示意图

当 $X = C_2H_4/C_2H_4$ 的编码分别为 1、0 和 2 时,隶属函数 u_1 、 u_0 和 u_2 分别为

$$u_1 = \begin{cases} 0 & (X \leq 0.08) \\ 0.5 + 0.5\sin[25\pi(X - 0.1)] & (X \in (0.08, 0.12]) \\ 1 & (X \in (0.12, 2.9]) \\ 0.5 - 0.5\sin[25\pi(X - 3)] & (X \in (2.9, 3.1]) \\ 0 & (X > 3.1) \end{cases}$$

$$u_0 = \begin{cases} 0, & (X \leq 0.08) \\ e^{-50(X-0.08)} & (X > 0.08) \end{cases}$$

$$u_2 = \begin{cases} 0 & (X \leq 2.85) \\ 1 - e^{-12(X-2.85)} & (X > 2.85) \end{cases}$$

当 $X = C_2H_4/C_2H_6$ 的编码分别为 1、0 和 2 时,隶属函数 u_1 、 u_0 和 u_2 分别为

$$u_1 = \begin{cases} 0 & (X \leq 0.9) \\ 0.5 + 0.5\sin[5\pi(X - 1)] & (X \in (0.9, 1.1]) \\ 1 & (X \in (1.1, 2.9]) \\ 0.5 - 0.5\sin[5\pi(X - 3)] & (X \in (2.9, 3.1]) \\ 0 & (X > 3.1) \end{cases}$$

$$u_0 = \begin{cases} 0 & (X \leq 0.85) \\ e^{-50(X-0.85)} & (X > 0.85) \end{cases}$$