

# 基于模糊知识网的推理机设计

刘乔乔,严洪森,马 靖

(东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室,江苏 南京 210096;  
东南大学 自动化学院,江苏 南京 210096)

**摘 要:**为了简化知识网的重构运算,文中在原有知识网定义的基础上,结合用户对重构出的知识网的满意度和用户需求的多样性,以及模糊数学的相关知识,提出了一种模糊知识网的概念;然后根据模糊知识网与原有知识网的不同,在原有知识网混合运算的基础上重新定义模糊知识网的并、交、差运算,并给出模糊知识网混合运算的算法;最后在混合运算的基础上研究了模糊知识网推理机的设计,并给出了模糊知识网推理机的主要功能模块和设计流程图以及几个主要的界面以实现模糊知识网的自重构。

**关键词:**模糊满意度;模糊知识网;混合运算;模糊知识网推理机

**中图分类号:**TP391;TH166

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2013)04-0039-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2013.04.009

## Design of Inference Engine Based on Fuzzy Knowledge Mesh

LIU Qiao-qiao, YAN Hong-sen, MA Jing

(Ministry of Education Key Laboratory of Measurement and Control of CSE, Southeast University,  
Nanjing 210096, China;

School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** In order to simplify the reconstruction operation of knowledge mesh and considering the users' satisfactory degree of the reconfigured knowledge mesh, combining the diversity of users' needs with the knowledge of fuzzy mathematics, a new concept of fuzzy knowledge mesh is put forward in this paper based on the original definition of knowledge mesh. The original knowledge mesh being compared with fuzzy knowledge mesh, the union, intersection and minus operations of fuzzy knowledge meshes are redefined based on the original hybrid operation of knowledge meshes. At last, on the basis of that, the design of fuzzy knowledge mesh inference engine is studied and its main function modules and design flow chart are given as well as a few main interfaces to realize the fuzzy knowledge mesh self-reconstruction.

**Key words:** fuzzy satisfactory degree; fuzzy knowledge mesh; hybrid operation; fuzzy knowledge mesh inference engine

## 0 引言

现今,国内外制造技术发展迅速,制造企业自身及所处的环境也变化多样。一方面市场和用户对产品的要求越来越高,变化越来越快<sup>[1]</sup>;另一方面新的技术和管理方式冲击着原有制造企业的管理模式,使得企业内部的组织 and 人员的变化也在加快<sup>[2]</sup>。为了适应制造企业变化的多样性,东南大学的严洪森教授在2000年提出了一种基于知识网与Agent网表示的知识化制造系统(KMS)新理念<sup>[3]</sup>。经过十几年的潜心研究,不仅

在理论方面取得了一定的成果,并结合实际开发出了知识化制造自重构子系统。

在开发系统的过程中发现,由于用户需求的多样性和不确定性,在自重构的过程中存在着很多的模糊信息,这些模糊信息使得已开发的知识网库中的知识网不能很好地满足用户的需求;此外重构出的知识网对于用户来说满不满意,以及满意度是多少,这些在原有知识网的重构中,都是个未知数。因此,文中在原有知识网概念的基础上,考虑到用户对重构出的知识网的满意度,结合模糊数学知识<sup>[4]</sup>,提出模糊知识网的概念并进行模糊知识网推理机的设计。

## 1 模糊知识网定义

知道重构出的知识网最终是给用户使用的,需要满足用户的需求,这样重构出的知识网才有意义。在

收稿日期:2012-07-15;修回日期:2012-10-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60934008)

作者简介:刘乔乔(1987-),女,江苏宿迁人,硕士研究生,研究方向为知识化制造自重构;严洪森,博士,教授,博士生导师,研究方向为知识化制造、生产计划与调度、预测等。

原来知识网的重构中,并未考虑到知识网对用户的满意度。此外,在运算过程中还发现有些知识网的功能完全满足用户需求,但不完全一样,有细微差别。而这种细微差别对用户来说可以接受,因为有些用户对自己所需的知识网,要求并没有那么的严格,只要其功能符合用户的需求即可。因此,文中在原有知识网(Knowledge Mesh, KM)的基础上引入知识网的功能模糊满意度集,提出模糊知识网(Fuzzy Knowledge Mesh, FKM)的概念。

在文献[5]中,给出了知识网的详细定义。KM =  $\{P, R, M, F_p, F_R, F_M\}$ , 其中  $P$  是  $m$  个知识点的集合;  $R$  是  $n$  个复合联系的集;  $M$  是  $k$  个知识点间信息联系的集合,其中不包括父子知识点间的信息联系;  $F_p, F_R, F_M$  是针对所有知识点,分别在  $P, R, M$  上定义的所有功能的集合、所有复合联系的集合、以及所有信息流的集合。模糊知识网是在原有知识网的基础上引进知识网的功能模糊满意度集,因此得到模糊知识网的定义如下。

定义 1 FKM 被定义成一个七元组:

$$\text{FKM} = \{P, R, M, F_p, F_{\bar{p}}, F_R, F_M\}$$

其中:  $P, R, M, F_p, F_R, F_M$  的定义与上面知识网中的定义完全相同,这里不再赘述,下面重点介绍新引进的知识网功能模糊满意度集。

$F_{\bar{p}} = \{F_{\bar{p}_1}, F_{\bar{p}_2}, \dots, F_{\bar{p}_t}\}$  是一个定义在集合  $P$  上的所有功能对用户需求的模糊满意度的有限集,  $\forall F_{\bar{p}_i} \subset F_{\bar{p}}$  和  $i = 1, \dots, t, F_{\bar{p}_i}$  是知识点  $p_i$  所有功能对用户需求的模糊满意度的有限集,是  $F_{\bar{p}}$  的一个子集,  $F_{\bar{p}}$  与  $F_p$  的元素总数相同。

由于引进了知识网功能模糊满意度集,使得知识网由原来的六元组变成了一个七元组。在给出具体的运算定义之前,还需要介绍一下模糊知识网在运算过程中的表示方法。

由定义 1 可得,模糊知识网 FKM 是一个由 7 个有限集合  $P, R, M, F_p, F_{\bar{p}}, F_R, F_M$  组成的大集合,同时规定其中的元素不能重复。设  $s$  为除  $F_{\bar{p}}$  之外的其余 6 个有限集合中的元素总数,  $t$  为  $F_{\bar{p}}$  中的元素总数,  $s > t$ 。因此,为便于描述,仍采用原有知识网的模型来描述模糊知识网,即将模糊知识网  $\tilde{W}$  表示成由  $s + t$  个元素组成的集合  $\tilde{W} = \{x_1, x_2, \dots, x_t, x_{t+1}, \dots, x_s, \tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_t\} = W + \tilde{X}$ , 其中,子集  $W = \{x_1, \dots, x_s\}$  与原知识网相同,而子集  $\tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_t\}$  为  $F_{\bar{p}}$  的所有元素集。再不失一般性,设  $\{x_1, \dots, x_t\}$  为  $F_p$  的所有元素集。由定义知  $F_p$  是知识网的所有功能集,  $F_{\bar{p}}$  是知识网所有功能的模糊满意度集,因此  $\{x_1, \dots, x_t\}$  和  $\{\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_t\}$  之间的元素一

一对应。

采用这种简化模型来描述模糊知识网后,模糊知识网的并、交、差运算与原有知识网的并、交、差运算有相似之处也有不同之处。由上面的定义可知,模糊知识网是由原有知识网和知识网功能模糊满意度集两部分组成,因此模糊知识网的混合运算也应该由这两部分共同组成。原有知识网的混合运算,是通过知识网多重集来描述的,类似地引入模糊知识网多重集来描述模糊知识网的混合运算。

定义 2 模糊知识网  $\tilde{W} = \{x_1, x_2, \dots, x_t, x_{t+1}, \dots, x_s, \tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_t\} = W + \tilde{X}$  上的模糊知识网多重集  $\tilde{W}_M = \{\alpha_1 x_1, \alpha_2 x_2, \dots, \alpha_t x_t, \alpha_{t+1} x_{t+1}, \dots, \alpha_s x_s\}$ , 功能模糊满意度集  $\tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_t\}$ 。对于元素集  $\{x_1, \dots, x_t, x_{t+1}, \dots, x_s\}$ , 其系数  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_s$  为有界实数。 $\alpha_j (j = 1, \dots, s)$  为正表示有  $\alpha_j$  个元素  $x_j$ ,  $\alpha_j = 0$  表示有 0 个元素  $x_j$ ,  $\alpha_j$  为负表示少了  $|\alpha_j|$  个元素  $x_j$ 。

由于模糊知识网  $\tilde{W}$  中元素  $\{x_1, \dots, x_t\}$  为知识网功能的所有元素集,它映射成多重集后对应的系数为功能的多重数  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_t, \{\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_t\}$  为功能模糊满意度元素集与  $\{x_1, \dots, x_t\}$  一一对应。有了功能多重数,就可以定义功能模糊满意度集  $\tilde{X}$  的运算了。

## 2 模糊知识网的相关运算

在给出具体的运算定义前,需要说明一下。不管是模糊知识网多重集的运算还是功能模糊满意度集的运算,都是对集合而言。因此为便于运算,对集合进行归一化处理:若集合  $M$  中包含元素  $\alpha_{i_q} x_q$  但  $N$  中不包含,可看成  $0x_q \in N$ ; 相反若  $\alpha_{2_q} x_q \in N$  但不属于  $M$  时,可看成  $0x_q \in M$ , 经过这样的归一化处理后,可以保证两集合中的元素个数相同,方便运算。下面只要涉及到集合运算,都假设进行过归一化处理<sup>[6]</sup>。

### 2.1 模糊知识网的功能模糊满意度集运算

定义 3 设  $\tilde{X}_1 = \{\tilde{x}_{11}, \dots, \tilde{x}_{1t}, \dots, \tilde{x}_{1t}\} = \{\tilde{x}_{1i}\}_t$  和  $\tilde{X}_2 = \{\tilde{x}_{21}, \dots, \tilde{x}_{2t}, \dots, \tilde{x}_{2t}\} = \{\tilde{x}_{2i}\}_t$  是两个模糊知识网的功能模糊满意度集,  $\alpha_{1i}, \alpha_{2i} (i = 1, \dots, t)$  分别是它们的功能多重数,则有:

(1) 两个模糊知识网的功能模糊满意度集  $\tilde{X}$  的并运算定义为:

$$\tilde{X}_1 + \tilde{X}_2 = \{\tilde{x}_{1i} \vee \tilde{x}_{2i}\}_t \quad (1)$$

其中,  $\tilde{x}_{1i} \vee \tilde{x}_{2i} = \max(\tilde{x}_{1i}, \tilde{x}_{2i})$ 。

(2) 两个模糊知识网的功能模糊满意度集  $\tilde{X}$  的交运算定义为:

$$\tilde{X}_1 \bullet \tilde{X}_2 = \begin{cases} \tilde{x}_{1i} \wedge \tilde{x}_{2i} \}_i, \alpha_{1i} > 0, \alpha_{2i} > 0; \\ \{0\}_i, \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $\tilde{x}_{1i} \wedge \tilde{x}_{2i} = \min(\tilde{x}_{1i}, \tilde{x}_{2i})$ 。

(3) 两个模糊知识网的功能模糊满意度集  $\tilde{X}$  的差运算定义为:

$$\tilde{X}_1 - \tilde{X}_2 = \begin{cases} \{0 \vee (\tilde{x}_{1i} - \tilde{x}_{2i})\}_i, \alpha_{1i} = \alpha_{2i} = 1; \\ \{\tilde{x}_{1i}\}_i, \alpha_{1i} > \alpha_{2i}; \\ \{0\}_i \text{ 其他} \end{cases} \quad (3)$$

## 2.2 模糊知识网多重集的运算

定义4 设两个模糊知识网  $\tilde{W}_1$  和  $\tilde{W}_2$  对应的模糊知识网多重集为  $\tilde{W}_{M1} = \{\alpha_{11}x_1, \dots, \alpha_{1j}x_j, \dots, \alpha_{1s}x_s\} = \{\alpha_{1j}x_j\}_s$  和  $\tilde{W}_{M2} = \{\alpha_{21}x_1, \dots, \alpha_{2j}x_j, \dots, \alpha_{2s}x_s\} = \{\alpha_{2j}x_j\}_s$ ,  $j = 1, \dots, s$  则有:

(1) 两个模糊知识网多重集  $\tilde{W}_M$  的并运算定义为:

$$\tilde{W}_{M1} + \tilde{W}_{M2} = \{(\alpha_{1j} + \alpha_{2j})x_j\}_s \quad (4)$$

(2) 两个模糊知识网多重集  $\tilde{W}_M$  的交运算定义为:

$$\tilde{W}_{M1} \bullet \tilde{W}_{M2} = \{(\alpha_{1j} \wedge \alpha_{2j})x_j\}_s \quad (5)$$

(3) 两个模糊知识网多重集  $\tilde{W}_M$  的差运算定义为:

$$\tilde{W}_{M1} - \tilde{W}_{M2} = \{(\alpha_{1j} - \alpha_{2j})x_j\}_s \quad (6)$$

## 2.3 模糊知识网多重集和模糊知识网间的映射关系

原有知识网的运算是通过其多重集的运算实现的,运算结束后再将多重集映射成新的知识网。同理,为了实现模糊知识网的运算还需要定义模糊知识网多重集与模糊知识网之间的映射关系:

定义5 模糊知识网多重集  $\tilde{W}_M = \{\alpha_1x_1, \dots, \alpha_jx_j, \dots, \alpha_sx_s\}$  与模糊知识网  $\tilde{W}$  间的映射关系为:

$$f(\alpha_jx_j) = \begin{cases} x_j, \alpha_j > \varepsilon \\ \varphi, \alpha_j \leq \varepsilon \end{cases} (j = 1, \dots, s \text{ 且 } \varepsilon \text{ 为非负实数}) \quad (7)$$

## 2.4 两个模糊知识网的运算

原有知识网的运算基于多重集,先将知识网映射成多重集,然后对多重集进行并运算或交运算或差运算,再将运算后的多重集映射成知识网。同理,模糊知识网的运算基于模糊知识网多重集和功能模糊满意度集,先分别对模糊知识网多重集和功能模糊满意度集进行并运算或交运算,或差运算,然后在进行相应的处理,实现模糊知识网的并、交、差运算。

## 2.5 模糊知识网的混合运算

有了模糊知识网多重集和功能模糊满意度集的并、交、差运算定义,还必须给出运算的优先级才可以

进行混合运算。模糊知识网多重集和原知识网多重集相同,其运算优先级已在文献[5]中给出。功能模糊满意度集  $\tilde{X}$ ,其运算优先级已在文献[7]中给出。

综上所述,模糊知识网在原有知识网基础上引入知识网功能模糊满意度集  $F_p$ 。因此在进行模糊知识网的混合运算时,可以将模糊知识网  $\tilde{W}$  中的元素分为两类,一类是  $P, R, M, F_p, F_R, F_M$  六元组的所有元素,组成子集  $W$ ;另一类是模糊知识网中  $F_p$  的所有元素,组成子集  $\tilde{X}$ ,然后再分别进行运算。

据此设计思路,给出模糊知识网混合运算算法:

(1) 先将参加运算的各个模糊知识网的元素按照上述原则进行分类,  $F_p$  对应的元素放一起,  $P, R, M, F_p, F_R, F_M$  对应的元素放一起,分别得到子集  $\tilde{X}$  和  $W$ ;

(2) 对于子集  $W$  先根据定义2求出其多重集  $\tilde{W}_M$ ,然后按照定义4和  $\tilde{W}_M$  的优先级进行混合运算,保存中间结果;

(3) 对于子集  $\tilde{X}$ ,按照定义3和  $\tilde{X}$  的优先级进行混合运算,保存中间结果;

(4) 按照模糊知识网多重集的预处理规则对得到的新模糊知识网多重集进行预处理;

(5) 将预处理过的模糊知识网多重集按照定义5映射成新模糊知识网的非模糊部分,再与步骤(3)获得的新功能模糊满意度集联接,最终得到新模糊知识网。

## 3 模糊知识网多重集的预处理规则

上述算法中用到的模糊知识网多重集的预处理规则参照文献[8]中给出的原有知识网多重集的预处理规则。

## 4 模糊知识网推理机

至此,已经给出了模糊知识网混合运算的全部定义。下面以此为基础设计模糊知识网推理机。

模糊知识网推理机主要实现模糊知识网的自重构运算,为了了解重构出的知识网是否满足用户的需求,文中在原有知识网的基础上引入功能模糊满意度集。因此在重构过程中,可以通过计算知识网对用户需求的满意度,来决定是否需要继续运算。相当于用户给出一个重构误差,重构出的知识网只要在这个误差范围内,都可以接受。这样将省去大量的冗余运算,提高运算效率。模糊知识网满意度计算方法为:为知识网的每个功能分配一个权重因子,和知识网的功能模糊满意度集进行加权平均。

下面给出模糊知识网自重构的设计思路:首先解析运算表达式,获取相关数据;然后根据模糊知识网混合运算算法进行运算;接着计算知识网满意度,判断用户是否满意;最后添加相关信息,将满足条件的新模糊知识网,存储到模糊知识网数据库中。据此设计思路,参照文献[9]的知识网推理机设计思想,将模糊知识网推理机分成以下四大模块:映射模块、运算模块、处理模块、存储模块。

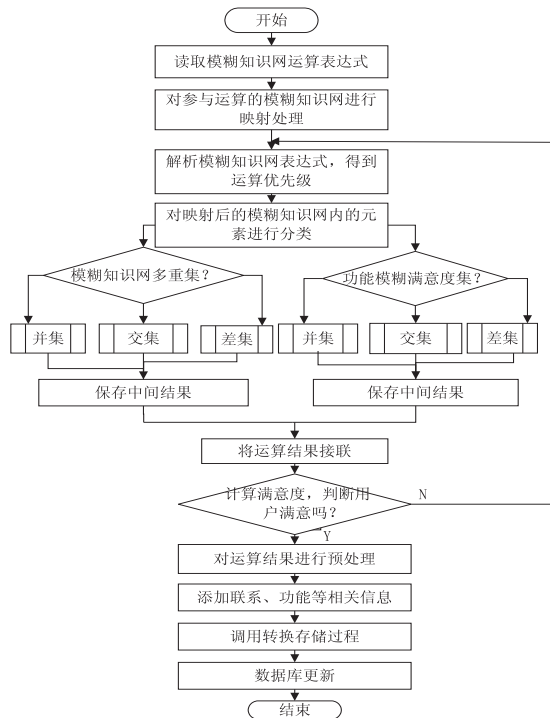


图 1 模糊知识网推理机的设计流程图

#### (1) 映射模块。

该模块读取模糊知识网的运算表达式,获得参与运算的各模糊知识网名,然后从模糊知识网库中读取上述各模糊知识网的相关数据,进行映射处理,获得各自对应的模糊知识网多重集及功能模糊满意度集,供下步运算使用。

#### (2) 运算模块。

运算模块主要实现模糊知识网的自重构功能。先解析模糊知识网运算表达式,得到运算的先后顺序;再根据模糊知识网混合运算的算法进行混合运算,得到一个新的模糊知识网多重集及其功能模糊满意度集。

#### (3) 处理模块。

计算知识网满意度,判断用户是否满意,如果满意则结束运算,进入下一步;如果不满意,则返回表达式,继续运算。

#### (4) 存储模块。

该模块要将运算结果存储到模糊知识网库中。首先将处理过的模糊知识网多重集映射成新模糊知识网的非模糊部分并与运算后的功能模糊满意度集联接;

然后添加该模糊知识网对应的知识点、联系、功能等相关信息,存储到知识化制造系统的模糊知识网库中,扩充模糊知识网数据库。

模糊知识网推理机的设计流程图如图 1 所示。

## 5 界面展示

受篇幅的限制,文中只挑了两个模糊知识网推理机运行的主要界面展示,如图 2 和图 3 所示。

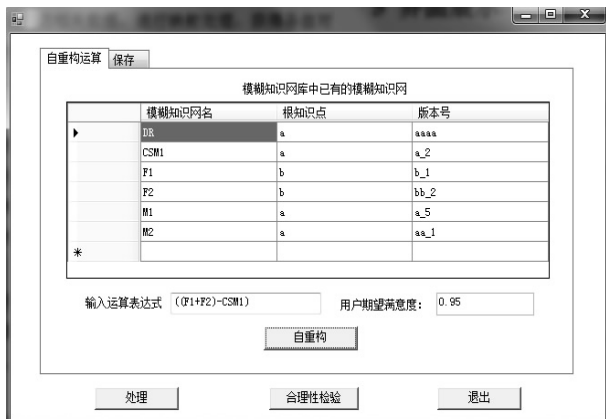


图 2 模糊知识网推理机自重构运算



图 3 模糊知识网推理机合理性检验

图 2 是模糊知识网的自重构界面。输入模糊知识网的运算表达式和用户期望的满意度,点击自重构按钮开始自重构,只要重构过程中计算出知识网满意度大于用户期望的满意度则给出提示,结束运算。

图 3 是对重构出的模糊知识网进行合理性检验,包括父子功能约束性检验、知识点功能资源约束检验、信息流约束性检验。只有检验合格的模糊知识网才可以存储到模糊知识网数据库中,供以后使用。

## 6 结束语

至此,模糊知识网推理机设计完毕。在此设计过程中借鉴了原有知识网推理机的设计思路,在此基础上进行改进。模糊知识网推理机的程序已经在.NET<sup>[10]</sup>框架下采用 C#语言<sup>[11]</sup>实现。为了和已有系统

(下转第 46 页)

10,10,12,10,9,0,20,60,40,50,36,49,40,19,150}

// 背包体积上限为  $C = [500 \ 500]^T$ 。

令随机因子  $p_p = 0.5$ , 运行文中算法得到的最优个体适应值为 164045, 而且没有超过背包的容量限制, 其 0/1 阵列如下所示:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

由上可以得出:通过扩充细胞状态集合的方式对二元蚁群算法细胞自动机模型进行扩展,比文献[2,10]上通过拉长细胞自动机长度的方式以及将 0/1 背包问题设计成具有  $n+1$  个节点以及从任意一个节点出发共有  $n$  条有向线段的带权图来求解多维 0/1 背包问题<sup>[11,12]</sup>要方便简洁的多,大大减少了程序的运行时间。

## 5 结束语

“计算”的过程实则是基于规则的物理状态的变换。文中创新性地将自然界中蚂蚁寻找食物所遵循的特定规律看作细胞之间的作用规则,而蚂蚁的寻优过程实则是执行这种特定规则的一种“计算”。这不仅将自然界中蚂蚁的复杂行为转换到一维细胞自动机这个简单模型上,而且在一定程度上体现了“计算”的本质。

文中设计的算法实则是采用二进制编码,这就很自然地联想到怎样与遗传算法、DNA 计算以及文献[13]提出的二元粒子群算法相结合,让其相互融合,在一定程度上能弥补算法本身所难以克服的缺陷。

(上接第 42 页)

相兼容,文中的数据库采用 SQL Server 2000<sup>[12]</sup>。对于模糊知识网推理机设计,虽然主要功能都已实现,但由于个人能力有限,仍有一些问题考虑得不够全面,还需要在今后的研发中进一步改进和完善。

## 参考文献:

- [1] Jiao J, Tseng M M. Customizability analysis in design for mass customization[J]. Computer-Aided Design, 2004, 36(8): 745-757.
- [2] Gomes C F, Yasin M M, Lisboa J V. An examination of manufacturing organizations' performance evaluation: analysis, implications and a framework for future research[J]. International Journal of Operations and Production Management, 2004, 24(5): 488-513.
- [3] 严洪森, 刘 飞. 知识化制造系统—新一代先进制造系统[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2001, 7(8): 7-11.
- [4] 张国立, 张 辉, 孔 倩. 模糊数学基础及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

## 参考文献:

- [1] Colomi A, Dorigo M, Maffioli F, et al. Heuristics from nature for hard combinatorial problem[J]. International Transactions in Operational Research, 1996, 3(1): 1-21.
- [2] 熊伟清, 魏 平. 二进制蚁群进化算法[J]. 自动化学报, 2007, 33(3): 259-264.
- [3] Bonabeau E, Dorigo M, Thetaulaz G. Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems[M]. New York: Oxford University Press, 1999.
- [4] 钱 乾, 程美英. 基于细胞自动机模型的二元群智能算法研究[J]. 电脑知识与技术, 2011, 7(12): 8905-8907.
- [5] Wolfram S. Theory and applications of cellular automata[M]. Beijing: World Scientific Publishing Co. PTE. Ltd, 1986: 203-220.
- [6] 曹兴芹, 王能超. 新型细胞自动机规则空间的参数化[J]. 计算机科学, 2007, 34(3): 145-148.
- [7] 李建会. 走向计算主义[M]. 北京: 中国书籍出版社, 2004.
- [8] 严 彬, 熊伟清, 程美英, 等. 带拥塞控制的多种群二元蚁群算法[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(4): 387-394.
- [9] Kellerer H, Pferschy U, Pisinger D. Knapsack problems[M]. New York: Springer Press, 2004.
- [10] 胡 钢, 熊伟清, 张 翔, 等. 可控搜索偏向的二元蚁群算法[J]. 控制理论与应用, 2011, 28(8): 1071-1080.
- [11] 王会颖, 贾瑞玉, 章义刚, 等. 一种求解 0/1 背包问题的快速蚁群算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(1): 104-107.
- [12] 罗小虎, 赵 雷. 一种解决 0/1 背包问题的蚁群算法[J]. 苏州大学学报(工科版), 2004, 24(1): 41-44.
- [13] 程美英, 熊伟清, 严 彬, 等. 二元粒子群算法求解多维 0/1 背包问题[J]. 系统仿真学报, 2009, 18(9): 5735-5743.
- [5] Yan Hongsen. A new complicated-knowledge representation approach based on knowledge meshes[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2006, 18(1): 47-62.
- [6] 严洪森. 新的先进制造模式知识表示方法[J]. 机械工程学报, 2006, 42(10): 81-89.
- [7] 薛朝改, 严洪森. 基于用户功能需求的知识网的自动生成研究[J]. 控制与决策, 2005, 20(9): 997-1001.
- [8] 薛朝改. 知识化制造系统自重构的研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [9] 薛朝改, 严洪森, 王艳斌. 基于组件技术的知识化制造系统自重构的实现[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(专刊): 39-45.
- [10] 江 红, 余青松. C#. NET 程序设计教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [11] 王小科, 徐 薇. C#从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [12] 陈志泊, 王春玲. 数据库原理及应用教程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

# 基于模糊知识网的推理机设计

作者: [刘乔乔](#), [严洪森](#), [马靖](#)  
作者单位: [东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 江苏 南京 210096](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)  
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2013(4)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201304011.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201304011.aspx)