

文章编号: 1001-0920(2005)09-0996-06

## 基于用户功能需求的知识网的自动生成研究

薛朝改, 严洪森

(东南大学 自动化研究所, 南京 210096)

**摘要:** 研究了基于用户功能需求的知识网自动生成方法。首先, 定义了知识网对用户需求的满意度关系及其运算, 建立了知识网多重集运算表达式优化的模型; 然后, 基于改进的混合遗传算法, 对知识网多重集表达式进行优化, 给出了知识网自动生成的步骤; 最后, 通过算例对知识网自动生成方法进行说明和验证, 表明了该方法的有效性和可行性。

**关键词:** 功能需求; 用户满意度; 知识网; 自动生成; 混合遗传算法

**中图分类号:** TP11, TH165

**文献标识码:** A

## Research of Automatic Construction of the Knowledge Mesh Based on the User's Functional Requirement

XU E Chao-gai, YAN H ong-sen

(Research Institute of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China. Correspondent: XU E Chao-gai, E-mail: majunya@163.net)

**Abstract:** The automatic construction approach to the knowledge mesh (KM) based on the user's function requirement is studied. The satisfaction degree relationships and operations between the KM and the users' requirement are defined, and the optimal model of KM multiple set operation expression is constructed. Then the KM multiple set operation expression is optimized based on the improved hybrid genetic algorithm, and the procedure of the KM's automatic construction is also presented. Finally, the KM's automatic construction is exemplified, which shows the effectiveness and the feasibility of the method.

**Key words:** Function requirement; User satisfaction degree; Knowledge mesh; Automatic construction; Hybrid genetic algorithm

### 1 引言

知识化制造是2000年提出的新概念<sup>[1]</sup>, 并已开始受到关注<sup>[2,3]</sup>。自重构是知识化制造系统的重要特性, 也是现代制造系统中迫切需要实现的功能。

关于知识化制造系统和知识网在国内外相关的研究较少, 虽然对知识网多重集理论及自重构算法的研究<sup>[4]</sup>奠定了知识网自动生成的基础, 但它需要有重构运算的表达式才能进行自重构, 本文主要是解决如何获得满足用户功能需求的优化知识网多重集运算表达式问题。因为用户的满意度随着知识网多重集表达式的不同而不同, 表达式的优化不能用

常规线性规划方法或牛顿法、梯度法等非线性规划方法解决, 所以可采用隐枚举搜索方法(如遗传算法)解决。虽然遗传算法已广泛用于制造系统的计划与调度, 如文献[5]采用遗传算法对大规模复杂制造系统的计划进行了优化, 文献[6]采用混合遗传算法对一类零件加工的准备时间和成批生产的Job-shop 车间生产计划及调度进行了集成优化。但将混合遗传算法用于解决制造系统模式的重构运算优化问题尚未见报道。本文首先定义了知识网功能的满意度模型及其运算, 然后通过改进的混合遗传算法对知识网多重集运算的表达式进行了优化, 基于

收稿日期: 2004-10-08; 修回日期: 2004-12-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(60443001); 江苏省高校“青蓝工程”第二期省级中青年学术带头人培养计划

作者简介: 薛朝改(1978—), 女, 河南邓州人, 博士生, 从事CIMS、知识化制造等研究; 严洪森(1957—), 男, 浙江江山人, 教授, 博士生导师, 从事并行工程、生产计划与调度等研究

用户功能需求, 给出了知识网自动生成的方法, 并且通过算例进行了说明

### 2 知识网功能的满意度模型及其运算

一个知识网是一个制造系统的抽象模型, 因此它应当拥有相应制造系统的所有功能 这里给出知识网功能的满意度模型及其运算

**定义 1** 知识网功能的模糊满意关系可以定义为: 给定知识网的某一个功能集  $U$ , 论域  $V = \{$ 一级满意度(很满意), 二级满意度(比较满意), 三级满意度(一般), 四级满意度(不太满意) $\}$ , 称积集  $U \times V$  的模糊子集  $R$  为知识网功能  $U$  到满意等级  $V$  上的一个模糊关系, 记为  $R(u, v)$ . 对于给定的序偶  $(u, v_j)$ , 称  $u_R(u, v_j)$  为  $u$  与  $v_j$  的  $R$  满意程度; 称  $u_R(u, v_j)$  所组成的向量为知识网功能的满意度关系, 记为  $x(u, v)$ . 将序偶  $(u_i, v_j)$  的隶属度  $u_R(u_i, v_j) \in [0, 1]$  记作  $h_{ij}$ , 称矩阵  $H = (h_{ij})_{n \times m}$  为知识网功能的模糊满意度矩阵, 模糊满意度矩阵的全体记作  $M_{n \times m}$ . 其中: 序偶  $(u_i, v_j)$  为知识网功能子集  $u_i$  与满意度  $v_j$  所组成的序偶,  $j = 1, 2, \dots, 4$

**定义 2** 知识网功能模糊满意度关系的合成: 设知识网功能子集  $U$  与满意度  $V$  的模糊关系为  $R$ , 知识网功能子集权重的模糊关系为  $W$ , 则  $W$  与  $R$  的合成模糊关系记作  $W \circ R$ , 其隶属度函数为

$$(W \circ R)(w, v) = \bigvee_{u \in U} (W(w, u) \wedge R(u, v)). \tag{1}$$

其中:  $\bigvee$  和  $\bigwedge$  分别表示取最大值(MAX)和最小值(MIN).

在定义模糊满意度矩阵运算前, 引入多重满意度矩阵的定义

**定义 3** 如果知识网功能的模糊满意度矩阵为  $H \in M_{n \times m}$ ,  $H = (h_{ij})_{n \times m}$ ,  $n = Q$ ,  $Q$  为用户提出的功能数, 则多重满意矩阵与满意度矩阵具有相同的维数, 矩阵中的元素是满意度矩阵元素的系数, 并将多重满意度矩阵记为  $H^* = (h_{ij}^*)_{n \times m}$ ,  $h_{ij}^*$  为整数

模糊满意度矩阵及多重满意度矩阵运算的定义如下:

**定义 4** 如果两个知识网功能的模糊满意度矩阵为  $H, S \in M_{n \times m}$ , 经过合成加权后得到关于知识网功能满意度的评价,  $H = (h_{ij})_{n \times m}$ ,  $S = (s_{ij})_{n \times m}$ ,  $n = Q$ ,  $Q$  为用户提出的功能数, 其多重满意度矩阵分别为  $H^* = (h_{ij}^*)_{n \times m}$ ,  $S^* = (s_{ij}^*)_{n \times m}$ , 则

1) 两个知识网功能的满意度及其多重满意度的并运算定义为

$$\begin{aligned} H \cup S &= (h_{ij} \vee s_{ij})_{n \times m}, \\ (H \cup S)^* &= (h_{ij}^* + s_{ij}^*)_{n \times m}. \end{aligned} \tag{2}$$

2) 两个知识网功能的满意度及其多重满意度的交运算定义为

$$\begin{aligned} H \cap S &= \begin{cases} (h_{ij} \wedge s_{ij})_{n \times m}, & h_{ij}^* > 0, s_{ij}^* > 0; \\ \mathbf{0}_{n \times m}, & \text{其他} \end{cases} \\ (H \cap S)^* &= (h_{ij}^* \wedge s_{ij}^*)_{n \times m}. \end{aligned} \tag{3}$$

3) 两个知识网功能的满意度及其多重满意度的减运算定义为

$$\begin{aligned} H - S &= \begin{cases} (0 \vee (h_{ij} - s_{ij}))_{n \times m}, & h_{ij}^* = s_{ij}^* = 1; \\ (h_{ij})_{n \times m}, & h_{ij}^* > s_{ij}^*; \\ \mathbf{0}_{n \times m}, & \text{其他} \end{cases} \\ (H - S)^* &= (h_{ij}^* - s_{ij}^*)_{n \times m}. \end{aligned} \tag{4}$$

其中:  $\bigvee$  和  $\bigwedge$  分别表示取最大值(MAX)和最小值(MIN).

为了解决满意度运算的优先级问题, 定义满意度运算表达式的强制运算次序如下:

**定义 5** 知识网满意度运算强制运算次序由  $1 \sim N$  的实数排列组成, 其中  $N$  表示满意度运算的步数, 它对应于满意度运算表达式中从左到右运算符的运算次序

### 3 基于用户功能需求的知识网多重集表达式的优化

#### 3.1 解空间的映射问题

解决表达式的优化问题, 首先需要相关的的评价标准, 本文采用上述基于用户功能满意度的评价. 在满意度评价的基础上, 对知识网满意度运算的表达式采用改进混合遗传算法进行优化, 实现在满足用户需求功能的前提下, 达到用户满意度向量最优, 最后再将满意度运算表达式映射成知识网多重集的表达式. 该过程如图 1 所示

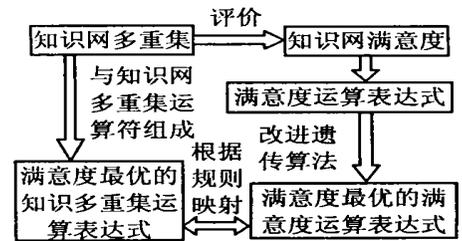


图 1 知识网多重集表达式的优化过程

若知识网多重集  $W_{M1}, W_{M2}$  对应的知识网满意度评价分别为  $H, S \in M_{n \times m}$ , 则优化过程中的规则如下:

**规则 1** 知识网多重集并运算  $W_{M1} + W_{M2}$  对应的满意度并运算表达式为  $H \cup S$ , 反之亦然

**规则 2** 知识网多重集交运算  $W_{M1} \cdot W_{M2}$  对应

的满意度交运算表达式为  $H \cup S$ , 反之亦然

**规则3** 知识网多重集减运算  $W_{M1} - W_{M2}$  对应的满意度减运算表达式为  $H - S$ , 反之亦然

知识网多重集及满意度表达式在规则1~规则3条件下的结论如下:

**定理1** 在规则1~规则3条件下, 有限  $N$  步知识网多重集运算的表达式与具有相应强制运算次序的知识网满意度  $N$  步运算的表达式之间存在一一对应的映射

### 3.2 知识网满意度表达式优化模型

将知识网满意度的整个表达式作为染色体, 对其进行编码, 目标是染色体的适应度向量最优, 即适应度向量与理想向量的关联度最大, 这里染色体的适应度向量是用户对所需要功能的满意度, 目标函数为

$$J = \max_{m,n} \epsilon(f_{m,n}(x), x_0), \quad (5)$$

其中:  $f_{m,n}$  是由第  $m$  代第  $n$  条染色体本身所决定的适应度向量, 它随着染色体的不同而不同;  $x$  为染色体, 它是由知识网满意度基因位与运算符基因位的交替排列组成;  $x_0$  为理想适应度向量

这里, 为了避免与传统遗传算法的术语相混淆, 将本文术语说明如下: 适应度向量: 由知识网对用户提出的功能满意度组成的向量; 适应度值: 适应度向量与理想适应度向量的关联度, 即适应度向量的转换值

通常情况下, 采用加权、求均值等方法对向量求一个整体的适应度, 本文采用向量表示可避免信息丢失, 但需要建立相应的向量比较和转换方法

### 3.3 适应度向量的寻优与转换

#### 3.3.1 适应度向量的寻优

首先, 适应度向量中各分量均为 1, 所组成一个新向量称为理想最优适应度向量, 记为  $x_0$ ; 然后, 根据式(2)求种群中各适应度向量与理想最优适应度向量之间的关联度

$$\epsilon(x_p, x_0)_{op} = \frac{|x_0| + |x_p|}{|x_0| + |x_p| + |x_p - x_0|} \quad (6)$$

式中:  $x_0$  为理想最优适应度向量;  $x_p$  为种群中的某一适应度向量;  $||$  为向量的度量

#### 3.3.2 适应度向量的转换

遗传算法选择操作中需要求得染色体的选择概率, 因此需要将各个适应度向量转换为适应度值。采用式(6)求得各个向量的关联度作为染色体转换后的值, 以便于遗传算法的选择操作。为了加快可行解的收敛, 加入求关联度的规则4

**规则4** 如果计算得到染色体的适应度向量中含有 0, 则该个体的适应度向量的转换值为 0

### 3.4 改进的混合遗传算法

采用改进的混合遗传算法对知识网多重集运算的表达式进行优化。利用实数编码的方法将决策变量表示为算法中的遗传基因, 染色体采用分段形式, 用于进行两种不同的遗传运算。即染色体  $A_u$  和  $A_s$  分别用于表示满意度运算表达式中参与运算的知识网满意度与运算符的交替排列和强制运算次序

在混合遗传算法中, 根据用户对功能的要求, 在适应度向量的转换中加入规则5

**规则5** 如果知识网某一功能的用户满意度评价不为 0, 则知识网对该功能的多重满意度为 1

**算法1** 基于改进混合遗传算法的知识网多重集运算表达式优化算法:

Step1: 初始化遗传运算参数: 最大迭代次数  $g\_num$ 、种群规模  $pop\_size$ 、交叉概率  $p_c$  和变异概率  $p_m$ , 并读取模型参数数据(最大运算步数、每个知识网的满意度等), 并置初始迭代次数  $g\_ctr = 0$

Step2: 按照下面步骤生成初始的染色体(个体), 并构成初始种群  $pop_0$  (由  $pop\_size$  条染色体组成)。

1) 染色体  $A_u$  中的基因, 即参与运算的知识网满意度及运算符。染色体的基因是随机产生的整数组合, 知识网满意度基因与运算符基因相互交替排列, 染色体的长度由规定完成运算的步骤数及知识网满意度的数目确定。染色体  $A_s$  中的基因, 即运算次序, 是从  $1 \sim N$  的排列;

2) 为改善解的质量, 采用启发式方法确定初始种群包含的染色体。即初始种群中至少含有一个可行的染色体

Step3: 将父代种群  $pop_0$  映射到解空间, 计算各条染色体对应的适应度向量及其与理想适应度向量的关联度。在计算适应度的过程中遵从规则4和规则5, 计算强制优先级情况下的适应度向量及关联度

Step4: 采用比例选择的方法进行个体筛选和复制。根据

$$p_{opi} = \frac{\epsilon_{opi}}{\sum_{op=1} \epsilon_{opi}}, \quad op_i = 1, 2, \dots, pop\_size \quad (7)$$

和染色体被选中概率  $p_{opi}$  与其关联度  $\epsilon_{opi}$  成正比的原则, 从  $pop_0$  中选择  $pop\_size$  条染色体复制到子代种群  $pop_1$  中

Step5: 按照交叉概率  $p_c$  在  $pop_1$  中随机选择两个染色体和交叉的位置进行交叉, 产生两个新的个体以替代  $pop_1$  中原来的两条染色体。交叉运算需要两个步骤:

1) 对染色体  $A_u$  中的基因采用两点交叉算子, 以产生新的基因段;

2) 染色体  $A_s$  中的基因首先用两点交叉算子进行交叉, 然后进行合法性检查, 保证强制优先级是  $1, \dots, N$  的排列组合

Step6: 按照变异概率  $p_m$  在  $pop_1$  中随机选择染色体和变异位置进行两点变异 对染色体  $A_u$ , 随机选取染色体的两个位置, 将该位置上的基因变异成随机产生且与原来不同的基因, 产生新的个体替代  $pop_1$  中原来的染色体 对染色体  $A_s$ , 随机选取染色体的两个位置, 将两位置的基因对调, 产生新的染色体

Step7: 检查  $pop_0$  与  $pop_1$  最优染色体的优劣, 如果  $pop_0$  的最优染色体更优, 则以  $pop_0$  中的最优染色体替换从  $pop_1$  中随机选择的一条染色体

Step8: 如果  $g\_ctr = g\_num$ , 则转 Step9; 否则  $g\_ctr = g\_ctr + 1$ ,  $pop_0 = pop_1$ , 转 Step4

Step9: 根据定理 1 和改进遗传算法得到的  $pop_1$  中的最优染色体, 即得到最优的知识网满意度表达式及其强制优先级, 解码后得到最优的知识网多重集运算表达式

解码的过程是编码过程的逆过程, 可通过构造二叉树, 遍历其各节点, 得到整个多重集运算的表达式 限于篇幅, 在此略

经算法 1 优化后, 即可得到满足用户功能需求的知识网多重集运算表达式, 然后通过知识网推理机的运算得到新的知识网多重集, 再经映射后得到新的知识网, 从而实现系统的自重构

#### 4 知识网自动生成的实现步骤

基于用户功能需求知识网自动生成的实现步骤如下:

Step1: 对用户提出的需求进行层次化 为了方便以后的评价及处理, 将用户给出的功能需求划分为两层结构, 即模块级和子功能模块级

Step2: 对知识网进行初选 即从知识网库中初步选择符合企业自身条件的知识网

Step3: 对知识网进行精选 采用层次结构, 对知识网库中的知识网功能进行评价, 选取用户需求的各个功能中评价值高的两个知识网

Step4: 将由 Step3 选择的知识网组成一个集合, 即表达式优化中可参加运算的知识网 对所选用的知识网按照层次评价的方法进行评价, 得到知识网对用户功能需求的满意度向量

Step5: 按上述算法 1 对知识网多重集表达式进行优化 由用户输入最大的运算步骤及遗传运算中的参数, 得到适应向量最优的染色体, 然后映射为知

识网多重集运算的表达式

Step6: 根据优化的表达式, 由推理机进行重构运算, 得到新的知识网多重集, 然后映射为新的知识网, 从而生成新的软件系统

在知识网自动生成的实现步骤中, 应用了对知识网满意度的评价, 评价方法如下:

Step1: 将知识网归一化为  $Q$  个功能, 缺少的功能用零补足, 记作  $U_1, U_2, \dots, U_Q$ , 满足  $\sum_{i=1}^Q U_i = U$ ,  $U_i = U_k = \Phi, i \neq k$ . 设功能  $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ir_i}\}, i = 1, 2, \dots, Q, r_i$  为  $U_i$  的子功能个数

Step2: 根据每个功能  $U_i$ , 按一级模型进行评判: 评判集  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ ,  $v_j$  为满意度等级, 且  $U_i$  上的权重分配为  $w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ir_i})$ , 要求  $\sum_{j=1}^{r_i} w_{ij} = 1$ .  $U_i$  的子功能评价矩阵为  $L_j$ , 于是子功

能级的综合评价为

$$h_j = w_i \circ L_j = (h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{j4}), \quad i = 1, 2, \dots, Q. \quad (8)$$

Step3: 将每个  $U_i$  作为一个元素, 对其进行评价, 又可得到评价矩阵, 它是知识网功能  $\{U_1, U_2, \dots, U_Q\}$  的评判矩阵, 即每个知识网功能的满意度矩阵  $H$ .

Step4: 给定各个满意度一定的权值, 求最终知识网的满意度向量 其中, 权值向量为  $w^L = (w^L_1, w^L_2, \dots, w^L_4)$ , 则知识网最终的满意度向量为

$$h^L = w^L (H)^T = (h_1, h_2, \dots, h_Q), \quad (9)$$

其中  $(H)^T$  为  $H$  的转置向量

#### 5 算 例

上述混合遗传算法已在 NET 平台上采用 C# 语言实现 (考虑到与推理机程序的兼容性), 并在该算法的基础上开发了知识网自动生成软件 下面以一个简单的算例来说明知识网自动生成的过程

假定某企业用户对管理信息系统提出了如下的功能需求, 为了重构出用户所需要的管理信息系统, 首先对用户需求进行转换, 转换后的层次功能需求如图 2 所示

从知识网库中初选出若干个与用户功能需求相近的知识网

按照 Step2, 对各个功能进行评价, 选择各个功能评价值高的两个知识网 评价的方法如下: 对每个功能的子功能进行评价, 然后加权求和, 求得各个功能的评价值, 选择各个功能评价值高的两个知识网 假定经过精选后得到知识网的集合为知识网  $w_1, w_2, w_3, w_4$ , 它们是可以参加遗传运算的知识网

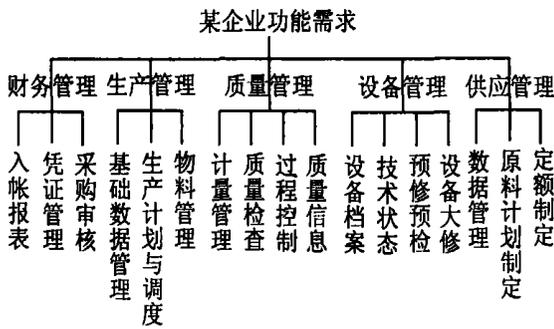


图2 某企业功能需求层次

下面以知识网  $w_1$  为例说明知识网满意度的评价方法: 知识网  $w_1$  的功能包含了用户所需要的3个功能(财务管理  $U_1$ 、生产管理  $U_2$  及质量管理  $U_3$ ), 对于每一个功能, 知识网的满意度评价矩阵如下:

$$L_1 = \begin{bmatrix} 0.48 & 0.30 & 0.12 & 0.1 & 0 \\ 0.32 & 0.32 & 0.25 & 0.23 & 0 \\ 0.4 & 0.26 & 0.22 & 0.12 & 0 \end{bmatrix},$$

$$L_2 = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.28 & 0.24 & 0.18 & 0 \\ 0.26 & 0.36 & 0.12 & 0.2 & 0 \\ 0.22 & 0.42 & 0.16 & 0.1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$L_3 = \begin{bmatrix} 0.38 & 0.24 & 0.2 & 0.08 & 0 \\ 0.24 & 0.28 & 0.3 & 0.18 & 0 \\ 0.42 & 0.3 & 0.2 & 0.08 & 0 \\ 0.34 & 0.3 & 0.25 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}.$$

确定每一个功能中功能子集的权重分配并进行子功

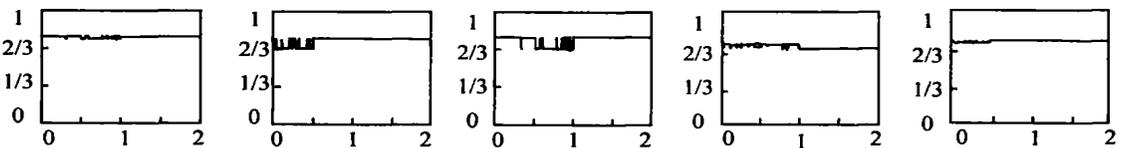


图3 最优染色体适应度向量各分量的变化

采用算法1对表达式进行优化, 种群规模  $pop\ size = 4$ , 交叉率  $p_c = 0.99$ , 变异率  $p_m = 0.2$  根据初始化输入的知识网满意度及其多重满意向量, 并按照定义4中满意度运算的定义进行满意度运算. 经过2000次迭代, 得到最优的知识网多重集运算表达式为  $w_{M3} + w_{M1} + w_{M4}$ , 其最优的满意度向量为  $(0.7825, 0.675, 0.78, 0.715, 0.7325)$ . 求解过程中保留各代最优的染色体适应度向量, 图3为各代最优染色体适应度向量各个分量的变化情况

根据优化知识网多重集的表达式, 由已开发成功的知识网推理机<sup>[7]</sup>进行重构运算及映射, 得到新的知识网, 并由此通过已开发成功的知识化制造系统自重构使能工具的程序自动生成模块<sup>[7]</sup>, 生成新的管理信息系统软件如图4所示, 从图中可以看出

能评价, 结果如表1所示

功能集	权重分配	一级评价
$U_1$	$w_1 = (0.4, 0.35, 0.25)$	$h_{11} = (0.4, 0.32, 0.25, 0.23)$
$U_2$	$w_2 = (0.2, 0.5, 0.3)$	$h_{12} = (0.26, 0.36, 0.2, 0.2)$
$U_3$	$w_3 = (0.1, 0.3, 0.4, 0.2)$	$h_{13} = (0.4, 0.3, 0.3, 0.18)$

可得到知识网  $w_1$  对用户需求功能的满意度矩阵, 并给定各个满意度等级的权值向量为

$$w^L = (0.9, 0.75, 0.5, 0.25),$$

得到知识网  $w_1$  的满意度及多重满意度向量为

$$h_{w1}^L = w^L (H_1)^T = (0.7825, 0.654, 0.78, 0, 0),$$

$$(h_{w1}^L)^* = (1, 1, 1, 0, 0).$$

同理, 对知识网  $w_2, w_3, w_4$  进行评价, 得到知识网  $w_2$  的满意度及多重满意度向量为

$$h_{w2}^L = w^L (H_2)^T = (0, 0.675, 0, 0.4925, 0),$$

$$(h_{w2}^L)^* = (0, 1, 0, 1, 0).$$

知识网  $w_3$  的满意度及多重满意度向量为

$$h_{w3}^L = w^L (H_3)^T = (0, 0.762, 0, 0.6775, 0.75),$$

$$(h_{w3}^L)^* = (0, 1, 0, 1, 1).$$

知识网  $w_4$  的满意度及多重满意度向量为

$$h_{w4}^L = w^L (H_4)^T = (0.7575, 0.649, 0.675, 0.715, 0.7325),$$

$$(h_{w4}^L)^* = (1, 1, 1, 1, 1).$$

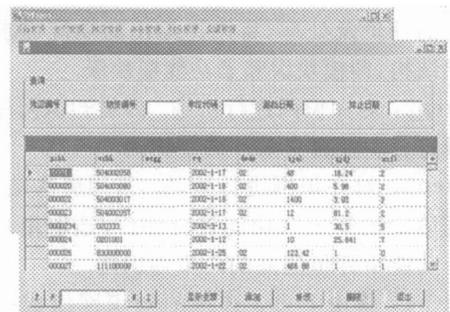


图4 与自动生成的知识网相对应的系统软件  
自动生成的软件系统已经包含用户所需要的所有功能

## 6 结论

为了满足不同企业制造模式的不同需求, 需要实现制造系统的自重构. 本文研究了基于用户功能

需求的知识网自动生成方法, 重点解决了知识网多重集表达式优化的难点问题。应用实例的有效运行充分说明, 利用文中的方法即可根据用户的需求从已有的知识网中自重构和生成新的知识网。这样企业就可根据自身需要随时随地构建合适的制造系统, 从而避免了重复研发, 为企业节约了大量的人力和物力。

### 参考文献(References)

- [1] 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*, 2001, 7(8): 7-11.  
(Yan H S, Liu F. Knowledgeable Manufacturing System — A New Kind of Advanced Manufacturing System [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2001, 7(8): 7-11.)
- [2] 范玉顺. 中国运用现代集成制造技术改造传统产业的经验 and 前景[J]. *制造业自动化*, 2002, 24(4): 1-8.  
(Fan Y H. Experience and Prospect of Using CMS to Promote Conventional Enterprise of China [J]. *Manufacturing Automation*, 2002, 24(4): 1-8.)
- [3] 黄琛, 范玉顺. 基于知识的企业CMS框架及关键技术研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2003, 9(10): 830-833.  
(Huang C, Fan Y S. An Architecture of Knowledge-based CMS and Its Key Technologies [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2003, 9(10): 830-833.)
- [4] 薛朝改, 严洪森. 基于Agent网的知识网的自重构研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2003, 9(11): 995-1000.  
(Xue C G, Yan H S. The Study on Self-reconfiguration of Knowledge Webs Based on Agent Webs [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2003, 9(11): 995-1000.)
- [5] Sannom iya N, Ima H. Genetic Algorithm Approach to An Optimal Scheduling Problem for A Large-scale Complex Manufacturing System [A]. *Proc of the IEEE Int Conf on Systems, Man and Cybernetics* [C]. Tokyo, 1999: 622-627.
- [6] 张晓东, 严洪森. 一类Job-shop 车间生产计划和调度的集成优化[J]. *控制与决策*, 2003, 18(5): 581-584.  
(Zhang X D, Yan H S. Integrated Optimization of Production Planning and Scheduling for a Kind of Job-shop [J]. *Control and Decision*, 2003, 18(5): 581-584.)
- [7] 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, 12(10): 39-45.  
(Xue C G, Yan H S, Wang Y B. The Realization of the Self-reconfiguration of Knowledgeable Manufacturing Systems Based on COM [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2004, 12(10): 39-45.)
- [3] A ilaw adiKusum, Farris Paul. Trade Promotion: Essential to Selling Through Resellers [J]. *Sloan Management Review*, 1999, 41(1): 83-92.
- [4] 索寒生, 金以慧. 两阶段供需链企业间的博弈分析[J]. *计算机集成制造系统-CMS*, 2003, 9(7): 546-550.  
(Suo H S, Jin Y H. Research on Game in Two-stage Supply Chain Enterprises [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems—CMS*, 2003, 9(7): 546-550.)
- [5] 常良峰, 黄小原, 胡建忠. 一类供应链订货的Stackelberg主从对策[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2002, 24(2): 174-177.  
(Chang L F, Huang X Y, Huang J Z. Stackelberg Game in Supply Chain Ordering [J]. *J of Northeastern University (Natural Science)*, 2002, 24(2): 174-177.)
- [6] 常良峰, 卢震, 黄小原. 供应链渠道协调中的Stackelberg主从对策[J]. *控制与决策*, 2003, 18(6): 651-660.  
(Chang L F, Lu Z, Huang X Y. Stackelberg Game in Supply Chain Channel Coordination [J]. *Control and Decision*, 2003, 18(6): 651-660.)
- [7] 陶文源. 基于供应链伙伴关系的产品定价问题研究[J]. *武汉理工大学学报*, 2003, 25(1): 107-110.  
(Tao W Y. Research on Pricing Problems Based on Supply Chain Partnership [J]. *J of WUT (Information and Management Engineering)*, 2003, 25(1): 107-110.)
- [8] 滕春贤, 李智慧. *二层规划的理论与应用* [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 84-91.  
(Teng C X, Li Z H. *The Theory and Application of Bilevel Programming* [M]. Beijing: Science Press, 2002: 84-91.)

(上接第995页)