

模糊概念图知识表示及其推理机制研究*

刘培奇¹, 李增智²

(1. 西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 西安 710055; 2. 西安交通大学 电子与信息工程学院, 西安 710049)

摘要: 通过对现有模糊概念图的研究, 针对概念的所指域与模糊信息间的冗余问题和用模糊度表示模糊概念问题, 提出一种改进的模糊概念图知识表示方法。在改进的模糊概念图中, 用模糊集合表示概念图中的模糊概念和模糊关系, 并将模糊概念的所指域同模糊集合合并, 减少信息冗余。根据改进的模糊概念图, 重点研究了模糊概念图的匹配推理机制, 设计了基于语义约束的匹配推理算法, 并定量分析了算法的时间复杂度和空间复杂度。经过在《计算机文化基础》课程中实验测试, 算法反映了考生主观题的答卷情况, 同人工阅卷结果基本一致。

关键词: 模糊概念图; 知识表示; 知识推理

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)06-2119-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2010.06.036

Research on knowledge representation and inference mechanisms about fuzzy conceptual graphs

LIU Pei-qi¹, LI Zeng-zhi²

(1. School of Information & Control Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China; 2. School of Electronics & Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: By analyzing the existing fuzzy conceptual graphs, detected the information redundancy between referent and fuzzy degree of the concept. At the same time, fuzzy degree of some concepts doesn't reflect fuzzy uncertainty of the concept completely. Based on analysis, put forward a new fuzzy conceptual graph. In the improved fuzzy conceptual graphs, used the fuzzy set to replace the fuzzy degree and enlarge the referent. It reduced information redundancy and increased the ability of the knowledge representation. According to the new fuzzy conceptual graphs, studied the matching reasoning mechanism of the fuzzy conceptual graphs, and designed the matching reasoning algorithms based on semantic constraint. The paper accomplished the quantitative analysis of the time complexity and space complexity of the algorithm. Via the experimental test in the culture foundation of computer science, the algorithm is the same as manuals of checking over subjective examination basically.

Key words: fuzzy conceptual graphs; knowledge representation; knowledge reasoning

概念图 (conceptual graphs, CGs) 是美国计算机科学家 Sowa^[1] 提出的一种集语言学、心理学和哲学为一体的图形知识表示方法, 它具有简单、直观、语义表达能力强等优点, 可表示自然语言的语义知识和深层格关系。Granet 和 Tsul 等人已证明概念图是一种优秀的知识表示方法。自从概念图知识表示提出之后, 受到计算机界, 特别是人工智能界学者的广泛关注, 并在自然语言理解、数据库自然语言接口、知识表示、信息自动检索等方面取得了可喜成果^[2,3]。

虽然概念图可以表示一阶逻辑、高阶逻辑和模态逻辑等, 但在模糊知识的表示和处理能力方面略显不足。目前已有一些学者将模糊数学理论与概念图相结合, 研究了模糊概念图 (fuzzy conceptual graphs, FCGs) 知识表示方法, 并在一些实际问题中获得应用^[4]。但是在现有的模糊概念图中存在概念节点的所指域和模糊度域的重复现象, 以及模糊度不能真正反映模糊概念的特性等问题, 使其在模糊知识表示和处理能力方面略显不足。本文主要从概念图中概念的类标志符和所指域出发, 研究一种改进的模糊概念图知识表示方法, 并将模糊度用模糊集合表示。在新的模糊概念图知识表示的基础上, 重点研

究模糊概念图的推理机制和算法。

1 模糊概念图知识表示

在用概念图表示和处理模糊不确定知识的研究中, Morton 和 Wuwongse 等人分别提出了模糊概念图知识表示方法^[4,5]。为了便于模糊不确定性知识处理, Morton 在 Sowa 的概念图中引入了模糊度的概念^[3]。在这种模糊概念图中, 将一个概念 c 定义为 $[t: x | \mu_c]$ 。其中: $\mu_c: L_c \times I \rightarrow [0, 1]$ 是实体的子类 L_c 和标记集合 I 又积到区间 $[0, 1]$ 的一个偏函数, $t = \text{type}(c) \in L_c$, $x = \text{referent}(c) \in I$ 。这里的 $\text{type}()$ 和 $\text{referent}()$ 分别将一个概念映射为概念类型和所指域。对于任意一个模糊关系 r 可定义为 $(\text{type}(r) | \mu_r)$ 。其中 μ_r 是指连接在关系 r 上的概念满足关系的程度。由模糊概念、模糊关系和映射关系组成模糊概念图。

这种模糊概念图知识表示在一定程度上反映了概念和关系的模糊程度, 可解决一些模糊不确定性知识的表示问题。但是在这种模糊概念图中, 存在两个严重缺陷: a) 模糊度仅仅反映了一些概念和关系的模糊不确定性, 对于难以用一个

收稿日期: 2009-11-20; 修回日期: 2009-12-27 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60673170); 陕西省教育厅自然科学基金专项资助项目(08JK318); 校人才基金资助项目(RC0618)

作者简介: 刘培奇(1959-), 男, 陕西西安人, 副教授, 博士, 主要研究方向为机器学习、模式识别和网络安全(peiqiliu@163.com)。

模糊度表示其模糊不确定程度的概念和关系就无法确切表示。b) 在这种表示方法中, 没有充分考虑概念图中概念节点所指域的特点, 存在表示方法重复和不能进行概念所指域的聚集计算问题。针对 Morton 提出的模糊概念图存在的问题, 首先提出用模糊集合表示概念和关系的模糊性质, 并对概念节点所指域进行适当扩展, 使概念所指域中包含模糊集合, 体现模糊概念的外延。

在新模糊概念图表示方法中, 任何概念节点由概念标志符和概念所指域组成, 其中概念标志符是概念内涵的体现, 概念所指域是概念标志符的定义域, 为概念外延的体现, 它可以是一个个体、一个 cantor 集合, 也可以是一个模糊集合等。

定义 1 设 L_c 是实体的子类, I 为标记集, 任意一个概念 c 可表示为 $[t:Y]$ 。其中: $t = \text{type}(c) \in L_c, Y = \text{referent}(c) \in I$ 。在这里 Y 实际上是概念 c 的论域, 当 Y 为 “*” 时, 表示概念 c 存在, 是清晰的但不确定; 当 Y 为一个带序号的数字或 Y 为一个名词时, 表示概念 c 是一个特殊的清晰概念; 当 Y 是一个 cantor 集合时, 概念 c 是一个清晰概念, Y 为概念取值范围; 当 Y 是一个模糊集合 A 时, c 为模糊概念。在有限论域 U_c 中, $A = \sum_{x \in U_c} \mu_A(x)/x$; 对于无限论域 $U_c, A = \int_{x \in U_c} \mu_A(x)/x_0$ 。模糊集 A 中的 x 是模糊概念 c 论域中的元素, $\mu_A(x)$ 表示 x 属于 c 的程度。

为了简化概念所指域的形式, 将论域 U_c 中任意集合 X 表示成特征函数形式, 即

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x \in X \\ 0 & x \notin X \end{cases}$$

可以看出, 清晰集合是模糊集合的特例。在概念图的所指域中, 可将模糊集合与清晰集合表示形式统一。

定义 2 在 FCGs, 假设确定概念的论域为 $U = \{\text{true}, \text{false}\}$, 则模糊集可定义为 $\{1/\text{true} + 0/\text{false}\}$ 。

在概念所指域中, 将 “* x ” 表示为 $\{*\}$, 个体 x 表示成 $\{x\}$, 就可将概念的所指域统一为集合形式。当概念所指域不确定时, 所指域可省略。在概念图匹配中为了便于概念所指域的操作, 特引入概念标志符的聚集运算符。

定理 1 设 $\{*\}$ 为一般概念集合, X 为普通集合, A, B 为模糊概念集合, 论域为 U_c , 则标志符的聚集运算遵守以下聚集运算符:

- a) $\{*\} \cup \{*\} = \{*\}$
- b) $\{*\} \cup X = \{x | x \in X \vee x = *\}$
- c) $\{*\} \cup A = \sum_{x \in U_c} \mu_A(x)/x$, 当 $x = *$ 时 $\mu_A(x) = 1$
- d) $X \cup A = \sum_{x \in U_c} \mu_A(x)/x$, 当 $x \in X$ 时 $\mu_A(x) = 1$
- e) $A \cup B = \sum_{x \in U_c} (\mu_A(x) \vee \mu_B(x))/x$
- f) $\{*\} \cap \{*\} = \{*\}$
- g) $\{*\} \cap X = X$
- h) $\{*\} \cap A = \sum_{x \in U_c \wedge \mu_A(x) \neq 0} \mu_A(x)/x$
- i) $X \cap \mu_A = \{x | x \in X \wedge \mu_A(x) \neq 0\}$
- j) $A \cap B = \sum_{x \in U_c} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(x))/x$

定义 3 对于任意概念关系 r , 关系节点可表示为 $(t:A)$ 。其中: $t = \text{type}(r)$; A 为模糊集合。在有限论域 U_r 中, $A = \sum_{r \in U_r} \mu_A(r)/r$ 。其中: r 是关系 R 论域中的元素, $\mu(r)$ 是 r 属

于关系 R 的程度; 在无限论域 U_r 中, $A = \int_{r \in U_r} \mu_A(r)/r_0$ 。对于确定关系也可以按照定义 3 表示成模糊集合的形式。

根据以上定义, 概念图中的概念和关系可用统一形式描述, 确定的概念图可作为模糊概念图的特例。模糊概念图可形式化定义为

定义 4 模糊概念图可用三元组表示: FCGs = (C, R, F) 。其中: $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 为模糊概念节点的集合; $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ 为模糊关系节点集合; $F = (C \times R) \cup (R \times C)$ 为弧的集合。

例如, 语句 “A young child eats pie, and it is not certain whether it is a boy or a girl who performs the eating. The certainty of girl is 0.6, the certainty of boy is 0.4. If it is a girl eats pie, her name probably (with 0.8 of certainty) called Lucy.” 可线性表示为

$$[\text{EAT}:A] - (\text{AGNT}:B) \rightarrow [\text{GIRL}:C] \rightarrow (\text{AGE}:A) \rightarrow [\text{YOUNG}:D] \\ (\text{OBJ}:A) \rightarrow [\text{PIE}:A]$$

其中: $A = 1/\text{true} + 0/\text{false}, B = 0.6/\text{girl} + 0.4/\text{boy}, C = 0.8/\text{Lucy} + 0.2/\text{other}, D = \sum_{x \in X} (1 + (x/20)^2)^{-1}/x; X = \{1, 2, \dots, 120\}$ 。为表示和阅读方便, 省略非模糊概念和关系中的模糊集合, 简化后的模糊概念图的线性形式为

$$[\text{EAT}] - (\text{AGNT}:B) \rightarrow [\text{GIRL}:C] \rightarrow (\text{AGE}) \rightarrow [\text{YOUNG}:D] \\ (\text{OBJ}) \rightarrow [\text{PIE}]$$

2 模糊概念图推理机制

在传统概念图中有三种重要的推理方式, 分别是完全匹配推理、投影匹配推理和相容匹配推理。由于完全匹配推理很简单, 投影匹配推理已在其他文献中有详细论述, 相容匹配推理有其自身的弊病, 下面将结合模糊概念图知识表示形式, 主要研究模糊概念图基于语义距离的语义约束匹配推理, 并根据推理机制设计匹配推理算法。

2.1 基本概念

在语义约束匹配推理中, 需要有关类、子类、概化(或特化)和概念格方面的简单知识, 相关的详细内容在文献[6,7]中有较完整的介绍。

定义 5 在概念的关系中, 若概念 c_1 比 c_2 更具体, 则称 c_2 是 c_1 的超类, c_1 是 c_2 的子类, 记为 $c_1 \leq c_2$ 。 $\forall c_1, c_2 \in C$, 若存在映射 $\pi: C \rightarrow T$, 使得 $\pi(c_1) = \pi(c_2)$ 成立, 则称概念 c_1 和 c_2 是同一类型概念, 即 $c_1 = c_2^{[5]}$ 。其中 C 和 T 分别为概念集和类集。

在概念 c_1 和 c_2 比较时, 若 $c_1 \leq c_2$ 成立, 则称 c_2 是 c_1 的概化(抽象), c_1 是 c_2 的特化(具体)。当两个概念有相同的概念类标志符时等号成立。概念集合上概念间的 “ \leq ” 是一种偏序关系, 形成了概念的层次结构。若在概念空间中增加全局概念 (b) 和不可能概念 (j), 关系 “ \leq ” 组成概念空间上的格关系。

定义 6 任意概念类型标志符 s 和 t 有最小公共超类 ($s \cup t$) 和最大公共子类 ($s \cap t$)。若 $s \leq u$ 且 $t \leq u$, 则 $j \leq s \cup t \leq u$; 若 $u \leq s$ 且 $u \leq t$, 则 $u \leq s \cap t \leq b$ [2]。

定义 7 设 u 和 v 为概念图, C_u 和 C_v 分别为 u 和 v 的概念节点集合。如果 $(\forall c_1 \in C_u) (\exists c_2 \in C_v) c_1 \leq c_2$, 则 u 是 v 的特化 (v 是 u 的概化), 记为 $u \leq v$ 。

2.2 语义约束匹配推理

语义约束匹配推理是建立在概念相容基础上的一种匹配推理方式。

定义 8 若概念 c_1 和 c_2 存在最大公共子类 c_3 , 即对任意概念 $c, c \leq c_1, c \leq c_2$, 则 $c \leq c_3$, 则称概念 c_1 与 c_2 为相容概念, 记为 $c_1 \ 8 \ c_2$ 。

定理 2 设 u, v 和 w 为概念图。若 $R_w = R_u \cup R_v, C_w = \{c \mid c = d \ 8 \ e \wedge d \in C_u \wedge e \in C_v\}$, 则称 w 是 u 和 v 的相容概念图, 记为 $w = u \ 8 \ v$ 。

定理中的 R 和 C 分别为概念图的关系节点集合和概念节点集合。通过定理得到了相容概念图的形成方法, 在相容概念图中, 累加了原始图的相容概念, 保留了概念图的不同部分。例如有概念图:

$u: [Eat] \text{---} (MANR) \text{---} [Fast]$
 (AGNT) $\text{---} [Person: \{Sue\}]$
 $v: [Eat] \text{---} (OBJ) \text{---} [Pie]$
 (AGNT) $\text{---} [Girl: \{ * x \}]$

则在概念图 u 和 v 中, 概念节点 $[Person: \{Sue\}]$ 和 $[Girl: \{ * x \}]$ 的相容概念为 $[Girl: \{Sue\}]$, 概念图 u 和 v 的相容概念图 w 为

$w: [Eat] \text{---} (MANR) \text{---} [Fast]$
 (AGNT) $\text{---} [Girl: \{Sue\}]$
 (OBJ) $\text{---} [Pie]$

在相容匹配推理中, 匹配约束很弱。例如, 概念 $[Person: \{Sue\}]$ 和 $[Girl: \{ * x \}]$ 在投影匹配时不能进行合一, 但在相容匹配中可合一成 $[Girl: \{Sue\}]$, 这在一定程度上暴露出相容匹配的不严谨性。产生这种结果的主要原因是推理过程中仅考虑了概念之间的概化(或特化)关系和相容关系, 没有考虑概念在概念格中的语义距离。

在概念格中, 不同概念在格中的层次和位置不同。概念间的连接线反映了概念之间的概化(或特化)关系。自底向上概念逐步抽象化(概化); 反之, 概念越来越具体(特化)。子层概念继承父类概念的所有特性。一个概念与其他概念间的差异不仅反映在概念的概化和特化关系上, 而且还反映在概念所在层次结构中的具体位置。

定义 9 在概念格中, 将边 $\langle a, b \rangle$ 的语义距离 (semantic distance) 定义为 1, 记为 $SD(a, b) = 1$ 。若概念格中任两个概念 a 和 b 间存在一条长为 k 的路径, 则 $SD(a, b) = k$; 若概念 a 和 b 间存在 n 条路径, 则 a 到 b 的语义距离为 a 到 b 间 n 条路径中的最短语义距离, 即

$$SD(a, b) = \min_{i=1}^n SD_i(a, b)$$

根据定义 9, 若概念类标志符 a 和 b 的最大公共下界为概念类标志符 c , 则 a 和 b 间的语义距离为

$$SD(a, b) = SD(a, c) + SD(b, c)$$

定义 10 设 a, b 是概念图中的两个概念, $\lambda \in R^+$ 。如果存在 a 和 b 的最小公共上界 c , 并且满足:

$$SD(a, c) + SD(b, c) \leq \lambda$$

则称概念 a, b 为语义约束匹配。两概念图中相应节点间的语义约束匹配为概念图的语义约束匹配推理。

可以看出, 概念图的语义约束匹配推理是在相容推理的基

础上加入语义距离约束的匹配推理, 显然, 语义约束匹配推理能更好地反映出用户需求, 符合实际需要。语义约束匹配算法 (matching algorithm of restricted the semantic distance, MARS D) 描述如下:

算法: MARS D 算法

- (1) Input: $u, v, \lambda, T // \lambda$ 为语义距离的阈值, T 为概念格
- (2) Output: $w // w$ 为 u 和 v 的最大连接图
- (3) begin
- (4) $C_w = \Phi; R_w = \Phi;$
- (5) while $R_u \neq \Phi$ and $R_v \neq \Phi$
- (6) $\{ (\forall r) r \in R_u, d_i r d_j; R_u = R_u - \{r\};$
- (7) if $r \in R_v$ and $c_k r c_l$
- (8) $\{$ if c_k, d_i is consistent and c_l, d_j is consistent
- (9) $\{$ lookfor(T, c_k, d_i); lookfor(T, c_l, d_j);
 // 在 T 中查找相容概念
- (10) $g = c_k \ 8 \ d_i; // g$ 是 c_k 和 d_i 的相容概念
- (11) $h = c_l \ 8 \ d_j; // h$ 是 c_l 和 d_j 的相容概念
- (12) if $SD(g, c_k) + SD(g, d_i) \leq \lambda$ and $SD(h, c_l) + SD(h, d_j) \leq \lambda$
- (13) $\{ C_w = C_w \cup \{g, h\}; R_w = R_w \cup \{r\};$
- (14) $\theta_u = \{d_i/g, d_j/h\}; \theta_v = \{c_k/g, c_l/h\};$
- (15) calculating the referent of concept g and h ;
- (16) $R_v = R_v - \{r\}; \{$
- (17) else // 将不属于 R_v 的 r 加入到 w 中
- (18) $\{ C_w = C_w \cup \{d_i, d_j\}; R_w = R_w \cup \{r\}; \}$
- (19) while $R_v \neq \Phi$
 // 概念图 v 中的其他概念和概念关系的处理
- (20) $\{ (\forall r) r \in R_v, c_k r c_l; R_v = R_v - \{r\};$
- (21) $C_w = C_w \cup \{c_k, c_l\}; R_w = R_w \cup \{r\}; \}$
- (22) end

在 MARS D 算法中, C 为概念节点集合, R 为关系节点集合。算法对模糊概念图 u 中关系节点 r 进行循环, 找到 u 中与 r 相关的概念; 再在 v 中搜索关系 r 和相关概念; 然后在 T 中搜索对应满足约束条件 λ 的相容概念, 并按聚集运算律计算概念所指域。

3 算法分析

在 MARS D 中, 输入为 u, v 和概念格 T , 输出为 w 。从 (5) ~ (18) 对 R_u 循环, 每次循环中都要在 v 中找出对应关系。在第一次循环中需查找 $|R_v|$ 次, 第二次循环需查找 $|R_v| - 1$ 次, 第 $|R_u|$ 次循环需查找 $|R_v| - |R_u| + 1$ 次。总循环次数为 $|R_v| |R_u| - \sum_{i=1}^{|R_u|} i = |R_u| (|R_v| - |R_u| + 1)$, 最坏情况下循环 $|R_u| |R_v|$ 次。在 (9) 中的 lookfor() 是一个改进的宽度优先搜索算法, 在概念格 T 中搜索 c_k 和 d_l , 在概念集合中找到 c_k 和 d_l 需要 $|C_u| |C_v|$ 次, 再沿着两个概念向下搜索找到相容概念 $c_k \ 8 \ d_l$ 。设 T 深度为 n , 最大宽度为 m , 则 lookfor() 最多查找 nm 次, 总查找次数最大上界为 $|R_u| |R_v| nm$ 。(19) 是将 v 中不属于 u 的关系加入到 w 中, 需循环 $|R_v| - |R_v \cap R_u|$ 次。因此算法 MARS D 在最坏情况下的总时间代价为 $|R_u| |R_v| (nm + |C_u| |C_v|)$ 。

一般情况下, 概念图中的关系为二元关系, 每个关系同两个概念关联。因此在一个概念图中, 概念节点的个数近似为关系节点个数的 2 倍, 并且有 $nm >> |R_u|$ 和 $nm >> |R_v|$ 。因

此, MARSD 算法最坏情况下总时间复杂度为 $O(nm)$ 。

MARSD 算法的空间复杂度为存储概念图 u 、 v 和 w 的概念节点及关系节点所需的存储空间、概念类型格的存储空间以及临时变量所需的存储空间, 因此算法总的空间复杂度的解析式为 $|R_w| + |R_u| + |R_v| + |C_w| + |C_u| + |C_v| + nm + \tau$ 。对于 u 、 v 和 w 都为二元关系的简单概念图, 则存储空间近似为 $3(|R_u| + |R_v| + |R_w|) + nm + \tau$, 所以总的空间复杂度为 $O(nm)$ 。

4 实验设计与分析

在对模糊概念图和推理机制的研究中, 以《计算机文化基础》课程为背景, 通过概念类型理论对课程中主要知识点进行分析, 组成课程的概念类型格^[7]。对于概念类型格中任意两个概念 x 和 y , 模糊匹配度 μ 定义为

$$\mu(x, y) = 1 - SD(x, y) / \max(x)$$

当 $x = y$ 时, $\mu(x, y) = 1$; x, y 不满足序关系 (\leq) 时, $\mu(x, y) = 0$ 。实际上, 要准确得到答案必须将标准答案图与学生答案图逐个比较匹配, 再取对应节点匹配结果中模糊匹配度的最大值。为了便于根据知识点计算学生最后得分, 在概念图中引入权值, 如学生概念图和标准答案概念图的匹配结果为模糊概念图:

$$[计算机系统10] - (COMP) \rightarrow [硬件系统:A|0.5] \\ \rightarrow [软件系统:B|0.5]$$

其中, $A = 1/硬件系统 + 0/OS + 0/Windows$, $B = 0/硬件系统 + 0.7/OS + 0.43/Windows$ 。式中的 0 和 0.5 分别为概念节点的权值。设 Π_u 中概念节点 k 的权值为 λ_k , 所指域为模糊集合所取的最大值 ρ_k , 题目分值为 P_i , 则考生得分 P_s 为

$$P_s = P_i \sum_{k \in c} \lambda_k \times \rho_k$$

在本文的研究过程中, 通过《计算机文化基础》课程中四个简答题对 96 名同学课堂测试, 试题总数为 384, 平均每题 15 个概念, 结果如表 1 所示。在表 1 中, 正确试率有所提高, 另外有 10.16% 的试题出错概念数较高。在实际考试中, 只要进一步规范题目文字, 正确率可达到 90%, 基本能满足实际考试要求, 可用于实际考试; 另外约 10% 的题目可在组卷中适当规避或采用人工方式协助批阅。

(上接第 2118 页) 真和生成实际系统中的控制模块。另一研究方向则是在不改变语义的前提下并行运行事件关系图, 提高运行效率。

参考文献:

[1] SCHRUBEN L. Simulation modeling with event graphs[J]. *Communications of the ACM*, 1983, 26(11): 957-963.
 [2] FENG Hui-ning. Model transformation with hierarchical discrete-event control[D]. Berkeley: EECS at UC Berkeley, 2009.
 [3] LEE E A. Modeling concurrent real-time processes using discrete events[J]. *Annals of Software Engineering*, 1999, 7(1-4): 25-45.
 [4] EKER J, JANNECK J W, LEE E A, et al. Taming heterogeneity: the ptolemy approach [J]. *Proceedings of the IEEE*, 2003, 91(1): 127-144.
 [5] LAMPORT L. Time, clocks, and the ordering of events in a distribu-

表 1 实验结果统计

试题数	出错概念数 (\leq)	正确概念率/%	正确试率/%
91	0	100	23.70
152	2	87	39.58
102	4	73	26.56
23	8	47	5.99
16	≥ 9	≤ 40	4.17

5 结束语

在人工智能的研究中, 知识表示是一个重要研究课题, 也是制约人工智能发展的重要瓶颈。本文以概念图知识表示为基础, 研究了现有模糊概念图知识表示中存在的问题, 提出一种改进的模糊概念图知识表示方法。在改进的模糊概念图知识表示基础上研究了模糊概念图基于语义约束匹配推理机制, 设计了 MARSD 算法, 并定量分析了算法的时间复杂度和空间复杂度。结合高等院校《计算机文化基础》课程特定主观题自动阅卷问题, 进行了 MARSD 算法的实验和应用, 运行结果基本达到了实用水平。该课题的研究对于知识表示方法和计算机自动阅卷问题的研究具有一定参考价值。

参考文献:

[1] SOWA J F. Conceptual structure [M]. New Jersey: Addison Wesley, 1984.
 [2] MULHEMY P, LEOWZ W K, LEE Y K. Fuzzy conceptual graphs for matching images of natural scenes [C]//Proc of the 17th International Conference on Artificial Intelligence. 2001:1397-1407.
 [3] MAISONNASSE L, CHEVALLET J P, BERRUT C. Incomplete and fuzzy conceptual graphs to automatically index medical reports [C]//Proc of the 12th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems. Berlin: Springer, 2007:240-251.
 [4] MORTON S. Conceptual graphs and fuzziness in artificial intelligence [D]. Bristol: University of Bristol, 1987.
 [5] WUWONGSE V, MANZANO M. Fuzzy conceptual graph [C]//Proc of International Conference on Conceptual Graphs for Knowledge Representation. London: Springer-Verlag, 1993: 430-449.
 [6] 刘培奇, 李增智. 基于模糊含权概念图的主观题自动阅卷方法研究 [J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(12): 4564-4567.
 [7] 刘培奇, 李增智. 主观题中模糊含权概念图匹配问题研究 [J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(12): 4568-4571.
 [8] ...ted system [J]. *Communications of the ACM*, 1978, 21(7): 558-565.
 [6] ZHAO Yang, LIU Jie, LEE E A. A programming model for time-synchronized distributed real-time systems [C]//Proc of the 13th IEEE Real-time and Embedded Technology and Applications Symposium. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007:259-268.
 [7] GODERIS A, BROOKS C, ALTINTAS L, et al. Composing different models of computation in kepler and ptolemy II [C]//Proc of the 7th International Conference on Computational Science. Berlin: Springer-Verlay, 2007:182-190.
 [8] CHAN W K, Schruben L W. Optimization models of discrete-event system dynamics [J]. *Operations Research*, 2008, 56(5): 1218-1237.
 [9] 张龙祥. UML 与系统分析设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.