

新的先进制造模式知识表示方法*

严洪森

(东南大学自动化研究所 南京 210096)

摘要: 针对解决知识化制造系统的自重构问题, 提出一种新的基于知识网和 Agent 网的先进制造模式知识表示方法。首先给出知识网的定义及与 Agent 网的关系, 定义知识网多重集及其与知识网的映射关系和知识网多重集的并、交、差等运算, 其次给出知识网多重集的并、交、差及其混合运算性质, 研究多重集运算性质的物理意义, 比较多重集和经典集合在运算性质方面的异同点, 定义知识网的完备性和两个知识网之间的割集及其多重割集。在此基础上, 研究基于关系数据库的知识网实现和知识网推理机问题。最后通过知识化制造系统自重构的两个例子介绍基于知识网和 Agent 网的自重构方法, 证实其有效性。

关键词: 先进制造模式 知识表示 知识网 Agent 网

中图分类号: TP182

0 前言

每一先进制造模式都是依据企业某一方面的需求而提出来的, 加上产品市场需求的多样性、企业多样性和制造系统的多样性, 使得没有一种先进制造模式能够适应所有制造企业。因此, 任何时候制造业的格局都将是各种先进制造模式并存、优势互补。当然, 由于企业的多样性, 一些企业可能仅需要一种先进制造模式, 而另一些企业则可能需要多种先进制造模式的恰当组合。另一方面, 各种先进制造模式和哲理的研究若要在实际中见效, 必然以实用系统为载体, 即建立各种相应的先进制造系统。显然, 这些先进制造系统之间肯定有共同之处(即矛盾的普遍性和统一性), 所不同的只是相应制造模式的特殊实现部分(即矛盾的特殊性)。因此, 如果各自为政, 各自研发各自的先进制造系统, 必然会造成所有先进制造系统相同部分的重复研发, 从而造成人力物力的浪费, 同时也限制了各自先进制造系统的推广应用范围, 因为有些企业很可能需要多种先进制造模式的恰当组合而不是单一先进制造模式。

事实上, 一种先进制造模式可看成是一种先进制造知识。如果能将各种先进制造模式转化为先进制造知识纳入先进制造系统, 则这种系统可随时根据需要选择最合适的先进制造模式或若干种先进制造模式的恰当组合, 以适应各种各样和不断变化的制造企业。这样既可以大大减少重复研发和人力物

力的浪费, 又可实现多种先进制造模式的优势互补, 便于大面积推广应用和产业化^[1]。

目前, 在人工智能研究领域, 知识表示主要有两大流派, 即符号主义(可用 IF THEN 表示的产生式规则、框架等)^[2-4]和连接主义(神经网络等)^[5-7]。这些知识表示已在很多领域得到广泛的应用, 但不太适合先进制造模式的知识表示。为此, 提出一种新的基于知识网和 Agent 网的先进制造模式知识表示方法来解决知识化制造系统(Knowledgeable manufacturing systems, KMS)^[1]的自重构问题。

1 知识网的定义及与 Agent 网的关系

每一先进制造系统都是某一先进制造模式的具体实现, 都由若干功能(即具备特定功能的分系统或模块)组成, 每个功能又由若干子功能(即具备特定子功能的子系统或子模块)组成, 每个子功能又由若干更小的子功能组成, 直至不能再细分的子功能(即原子功能)为止, 各个功能之间又存在各种各样的联系, 因此如果把每个功能看成是一个 Agent, 则任何一种先进制造系统都可看成是一个由这些 Agent 及其之间联系构成的 Agent 网(Agent mesh, AM)。由于 Agent 网是实际的制造系统, 无法进行结构上的逻辑运算, 为此将每个 Agent 映射成一个相应的知识点, 将每对 Agent 间的联系映射成一对相应知识点间的联系, 并由这些知识点及其之间的联系张成与 Agent 网具有相同结构(即同构)的网, 称之为知识网(Knowledge mesh, KM)。知识网可存放在 KMS 控制器的知识网库^[1] (可用关系数据库实现)中并可进行结构上的逻辑运算, 这样一来就可通过知识网的运算得到新的知识网并将其映射成新的 Agent

* 国家自然科学基金(60443001, 60574062)和江苏省高校“青蓝工程”第二期省级中青年学术带头人培养计划资助项目。20051105 收到初稿, 20060424 收到修改稿

网，从而得到新的先进制造系统。知识网的形式定义如下。

定义 1 KM 可定义为一个如下 6 元组

$$KM = \{P, R, M, F_P, F_R, F_M\}$$

式中 P 为由 m 个知识点组成的有限知识点集， $P = \{p_1, p_2, \Lambda, p_m\}$ 。 R 为由 n 个复合(从属与信息)联系组成的有限复合联系集， $R \subseteq P \times P$ ， $R = \{r_1, r_2, \Lambda, r_n\}$ 。复合联系反映了父子知识点之间的继承与信息交流关系，并与父子知识点对一一对应。除根知识点外，任何一个知识点至少通过一个复合联系从属于一个父知识点。 M 为由除了父子知识点之外的知识点间 k 个信息联系组成的有限信息联系集， $M \subseteq P \times P$ ， $M = \{m_1, m_2, \Lambda, m_k\}$ ， $R \cap M = \emptyset$ ， \emptyset 是空集。信息联系反映了除父子知识点之外的知识点之间的信息交流关系。 F_P 为定义在集合 P 上的所有功能的有限集， $F_P = \{F_{p1}, F_{p2}, \Lambda, F_{pm}\}$ ， $\forall F_{pi} \subset F_P$ ， $i = 1, \Lambda, m$ ， F_{pi} 是知识点 p_i 的所有功能的有限集，是 F_P 的一个子集。 F_R 为定义在集合 R 上的所有继承流和信息流的有限集， $F_R = \{F_{r1}, F_{r2}, \Lambda, F_{rn}\}$ ， $\forall F_{rj} \subset F_R$ ， $j = 1, \Lambda, n$ ， F_{rj} 是复合联系 r_j 的所有继承流和信息流的有限集，是 F_R 的一个子集。继承流是子知识点继承父知识点同其他知识点交流的信息流。 F_M 为定义在集合 M 上的所有信息流的有限集， $F_M = \{F_{m1}, F_{m2}, \Lambda, F_{mk}\}$ ， $\forall F_{mi} \subset F_M$ ， $i = 1, \Lambda, k$ ， F_{mi} 是信息联系 m_i 的所有信息流的有限集，是 F_M 的一个子集。

为了实现先进制造模式并在实际中见效，可将知识网映射成与其同构的 Agent 网，即先进制造系统。Agent 网的定义与知识网相似，Agent 网中的每个元素与知识网中的相应元素之间存在一对一的映射关系。Agent 网中的每个 Agent 可以是一个软件模块或由软硬件构成的系统或子系统，具有自治能力，还可具有自适应、自学习、自进化、自重构、自培训和自维护等“六自”特征，其实每个 Agent 也可以看成相应知识点的具体实现。

KM 与 AM 及两者之间映射关系的图形表示如图 1 所示。为便于图形表示，图 1 中只表示 KM 形式定义中的前三项，其后三项留待在面向关系数据库的表示中加以实现。此外，为图形清晰起见，只表示知识点和 Agent 之间一对一的映射，而忽略 KM 的联系与 AM 的联系之间的一对一的映射。图 1 中，细圆圈表示 P 中的知识点，细圆圈中的字符表示知识点名，粗圆圈表示 Agent，粗圆圈中的字符表示 Agent 名，粗实线表示复合联系，细实线表示信

息联系，虚线表示知识点和 Agent 之间的一对一的映射。

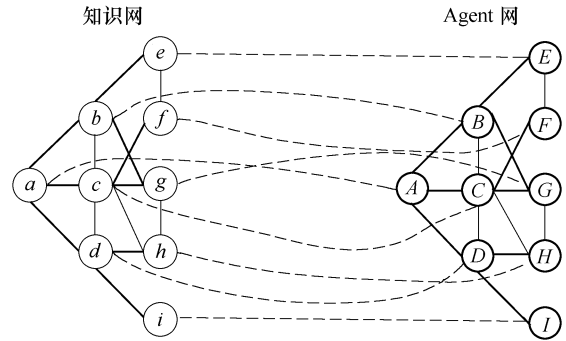


图 1 知识网和 Agent 网的映射关系

2 知识网的运算和有关性质

为实现多种先进制造模式的组合，可对多种相应的知识网进行适当的运算并得到新的知识网，然后将其映射成新的 Agent 网，以获得新的制造系统。为此，需要定义知识网的并、交、差等运算，但是经典集合的并集和差集运算有可能丢失元素的一些信息，且一个集合经并集和差集的组合运算后有可能无法还原。例如，设集合 U 与 V 交集不为空，则 U 与 V 的并集将丢失 U 与 V 交集中的元素为双重元这样一种信息，且 U 与 V 的并集再与 V 的差集不能还原为 U ，其实得到的是 U 中去掉 U 与 V 交集后剩余的部分，这与制造模式的组合实际是不相符的。对于两者具有相同部分的制造模式 U 与 V ，从其组合中去掉制造模式 V 后应能还原为制造模式 U ，如果得到的不是一个完整的制造模式 U ，则这种模式是不希望的，也可能无法工作，因此需要定义新的集合及其并、交、差等运算。

依据定义 1，KM 是一个由 6 个有限集合 P 、 R 、 M 、 F_P 、 F_R 、 F_M 组成的更大集合，且其中的元素不重复。设 t 为这 6 个有限集的基数(即集合中的元素个数)之和，为简化起见，可将知识网 W 表示成由 t 个元素组成的集合 $\{x_1, x_2, \Lambda, x_t\}$ 。为解决经典集合运算的元素信息丢失和集合还原问题，尚需定义 W 上的多重集 W_M 及其并、交、差等运算。 W_M 的定义如下。

定义 2 知识网 $W = \{x_1, x_2, \Lambda, x_t\}$ 上的多重集 W_M 可定义为

$$W_M = \{a_1x_1, a_2x_2, \Lambda, a_tx_t\}$$

式中 a_1, a_2, Λ, a_t 为有限实数，称为元素的系数。对

$q=1,2,\Lambda,t$, 正的 α_q 表示元素 x_q 的个数, $\alpha_q=0$ 表示无 x_q 元素($0x_q$ 也可视为空集 \emptyset), 负的 α_q 表示欠了 $|\alpha_q|$ 个 x_q 元素。将元素系数定义为有界实数是为了使知识网的多重集更具一般性和通用性。在实际应用中, 可将元素系数定义为有限整数。

定义 3 多重集 W_M 在知识网 W 上的映射可定义为

$$f(\alpha_q x_q) = \begin{cases} x_q & \alpha_q > \varepsilon \\ \emptyset & \alpha_q \leq \varepsilon \end{cases}$$

式中 ε 为非负实数, $q=1,2,\Lambda,t$ 。在实际应用中, 可将 ε 定义为实数 0。

定义 4 设多重集 W_{M1} 与 W_{M2} 分别定义在知识网 W_1 与 W_2 上, 则多重集 W_{M2} 包含 W_{M1} 可定义为: $\forall \alpha_q x_q \in W_{M1}$ 和 $\beta_q x_q \in W_{M2}$, 必有 $\alpha_q \leq \beta_q$, 则称多重集 W_{M2} 包含 W_{M1} , 记作 $W_{M2} \supset W_{M1}$, 或 $W_{M1} \subset W_{M2}$, 称 W_{M1} 为 W_{M2} 的子集。

为便于两多重集包含关系的判别, 当 $\alpha_q x_q \in W_{M1}$ 但 W_{M2} 不含元素 x_q 时, 可视 $0x_q \in W_{M2}$; 反之, 当 $\beta_q x_q \in W_{M2}$ 但 W_{M1} 不含元素 x_q 时, 可视 $0x_q \in W_{M1}$, 也就是作归一化处理。

定义 5 设多重集 $W_{M1} = \{\alpha_1 x_1, \Lambda, \alpha_e x_e, \Lambda, \alpha_g x_g\}$ 与 $W_{M2} = \{\beta_e x_e, \Lambda, \beta_g x_g, \Lambda, \beta_h x_h\}$ 分别定义在知识网 W_1 与 W_2 上, 且 e, g, h 为正整数, $1 \leq e \leq g \leq h$, 则两多重集的交集定义为

$$W_{M1} \mathbf{g} W_{M2} = \{\alpha_1 x_1, \Lambda, \alpha_{e-1} x_{e-1}, (\alpha_e + \beta_e) x_e, \Lambda, (\alpha_g + \beta_g) x_g, \beta_{g+1} x_{g+1}, \Lambda, \beta_h x_h\}$$

定理 1 设多重集 W_{M1} 、 W_{M2} 与 W_{M3} 分别定义在知识网 W_1 、 W_2 与 W_3 上, 则多重集的交集具有如下性质。

- (1) $W_{M1} + W_{M1} = 2 W_{M1}$
- (2) $W_{M1} + \emptyset = W_{M1}$
- (3) $W_{M1} + W_{M2} = W_{M2} + W_{M1}$
- (4) $(W_{M1} + W_{M2}) + W_{M3} = W_{M1} + (W_{M2} + W_{M3})$
- (5) 若 $W_{M1} \subset W_{M2}$, 则 $W_{M1} + W_{M3} \subset W_{M2} + W_{M3}$
- (6) 若 W_{M2} 中所有元素的系数为非负, 则

$$W_{M1} \subset W_{M1} + W_{M2}$$

- (7) 若 W_{M2} 中所有元素的系数为负, 则

$$W_{M1} \supset W_{M1} + W_{M2}$$

证明略, 详见文献[8]。

定理 1 的性质(1)和(7)分别不同于经典集合并集运算 $U+U=U$ 和 $U \subset U+V$ 。性质(2)~(6)在形式上同经典集合并集运算的性质一样。性质(3)的物理意义是制造模式 W_1 与 W_2 合并的结果等于制造模式 W_2 与 W_1 合并的结果。性质(4)的物理意义是制造模

式 W_1 与 W_2 合并后再与 W_3 合并的结果等于制造模式 W_2 与 W_3 合并后再与 W_1 合并的结果。性质(5)的物理意义是若制造模式 W_1 包含在制造模式 W_2 中, 则制造模式 W_1 与 W_3 的并集一定包含在制造模式 W_2 与 W_3 的并集中。

无穷多个多重集 W_{M1i} ($i=1,2,\Lambda$) 的并集可转化为关于元素系数的级数。按照级数收敛的必要条件, 当 $i \rightarrow \infty$ 时若 W_{M1i} 的元素系数为不趋于零的实数, 则系数级数发散, 从而无穷多个多重集的并集发散, 所以元素系数不趋于零的多重集的并集不具有经典集合并集运算的如下性质。

$$(1) \text{ 若 } U_i \subset V (i=1,2,\Lambda), \text{ 则 } \sum_{i=1}^{\infty} U_i \subset V$$

$$(2) \sum_{i=1}^{\infty} (U_i + V_i) = \sum_{i=1}^{\infty} U_i + \sum_{i=1}^{\infty} V_i$$

定义 6 设多重集 $W_{M1} = \{\alpha_1 x_1, \Lambda, \alpha_e x_e, \Lambda, \alpha_g x_g\}$ 与 $W_{M2} = \{\beta_e x_e, \Lambda, \beta_g x_g, \Lambda, \beta_h x_h\}$ 分别定义在知识网 W_1 与 W_2 上, 且 e, g, h 为正整数, $1 \leq e \leq g \leq h$, 则两多重集的交集定义为

$$W_{M1} \mathbf{g} W_{M2} = \{(\min(\alpha_1, 0))x_1, L, (\min(\alpha_{e-1}, 0))x_{e-1}, (\min(\alpha_e, \beta_e))x_e, L, (\min(\alpha_g, \beta_g))x_g, (\min(0, \beta_{g+1}))x_{g+1}, L, (\min(0, \beta_h))x_h\}$$

定理 2 设多重集 W_{M1} 、 W_{M2} 、 W_{M3} 与 W_{M1i} ($i=1,2,\dots$) 分别定义在知识网 W_1 、 W_2 、 W_3 与 W_{1i} 上, 则多重集的交集具有如下性质。

- (1) $W_{M1} \cdot W_{M1} = W_{M1}$
- (2) 若 W_{M1} 中所有元素的系数为非负, 则 $W_{M1} \mathbf{g} \emptyset = \emptyset$
- (3) 若 W_{M1} 中所有元素的系数为负, 则

$$W_{M1} \mathbf{g} \emptyset = W_{M1}$$

- (4) $W_{M1} \mathbf{g} W_{M2} = W_{M2} \mathbf{g} W_{M1}$
- (5) $(W_{M1} \mathbf{g} W_{M2}) \mathbf{g} W_{M3} = W_{M1} \mathbf{g} (W_{M2} \mathbf{g} W_{M3})$
- (6) 若 $W_{M1} \subset W_{M2}$, 则 $W_{M1} \mathbf{g} W_{M3} \subset W_{M2} \mathbf{g} W_{M3}$
- (7) $(W_{M1} \mathbf{g} W_{M2}) + W_{M3} = (W_{M1} + W_{M3}) \mathbf{g} (W_{M2} + W_{M3})$

(8) 若同时满足 $W_{M1} \subset W_{M3}$ 、 $W_{M2} \subset W_{M3}$ 和 $(W_{M1} + W_{M2}) \subset W_{M3}$, 则

$$(W_{M1} + W_{M2}) \mathbf{g} W_{M3} = W_{M1} \mathbf{g} W_{M3} + W_{M2} \mathbf{g} W_{M3}$$

- (9) $W_{M1} \mathbf{g} W_{M2} \subset W_{M1}$

- (10) 若 $W_{M1i} \supset W_{M2} (i=1,2,\Lambda)$, 则

$$\prod_{i=1}^{\infty} W_{M1i} \supset W_{M2}$$

证明略, 详见文献[8]。

定理 2 的性质(3)不同于经典集合交集运算 $U \text{ g } \emptyset = \emptyset$ 。性质(8)表明多重集的并集/交集运算分配率的成立是有条件的, 如果不满足性质(8)的条件, 则其分配率往往不成立, 这与经典集合运算 $(U+V) \cdot Y = U \text{ g } Y + V \text{ g } Y$ 始终成立是不一样的。性质(1)、(2)、(4)~(7)和(9)在形式上同经典集合交集运算的性质一样。性质(4)的物理意义是取两个制造模式的相同部分与两个模式的先后次序无关。性质(5)的物理意义是取三个制造模式的相同部分满足结合律。性质(6)的物理意义是若制造模式 W_1 包含在制造模式 W_2 中, 则制造模式 W_1 与 W_3 的相同部分一定包含在制造模式 W_2 与 W_3 的相同部分中。性质(7)的物理意义是制造模式 W_1 与 W_2 的相同部分与 W_3 合并的结果等于制造模式 W_1 与 W_2 分别同 W_3 合并的结果的相同部分。性质(9)的物理意义是两个制造模式的相同部分一定包含在两模式之一中。

由于元素系数不趋于零的无穷多个多重集的并集是发散的, 所以元素系数不趋于零的多重集不具有经典集合运算的如下性质

$$U \text{ g } \sum_{i=1}^{\infty} V_i = \sum_{i=1}^{\infty} U \text{ g } V_i$$

定义 7 设多重集 $W_{M1} = \{\alpha_1 x_1, \Lambda, \alpha_e x_e, \Lambda, \alpha_g x_g\}$ 与 $W_{M2} = \{\beta_e x_e, \Lambda, \beta_g x_g, \Lambda, \beta_h x_h\}$ 分别定义在知识网 W_1 与 W_2 上, 且 e, g, h 为正整数, $1 \leq e \leq g \leq h$, 则两多重集的差集定义为

$$W_{M1} - W_{M2} = \{\alpha_1 x_1, \Lambda, \alpha_{e-1} x_{e-1}, (\alpha_e - \beta_e) x_e, \Lambda, (\alpha_g - \beta_g) x_g, -\beta_{g+1} x_{g+1}, \Lambda, -\beta_h x_h\}$$

定理 3 设多重集 W_{M1} 、 W_{M2} 与 W_{M3} 分别定义在知识网 W_1 、 W_2 与 W_3 上, 则多重集的差集具有如下性质。

- (1) 若 $W_{M1} \subset W_{M2}$, 则 $W_{M1} - W_{M2} \subset \emptyset$
- (2) $(W_{M3} - W_{M1}) - W_{M2} = W_{M3} - (W_{M1} + W_{M2})$
- (3) $(W_{M1} - W_{M2}) + W_{M2} = W_{M1}$
- (4) $(W_{M1} + W_{M2}) - W_{M2} = W_{M1}$
- (5) 若同时满足 $W_{M1} \subset W_{M3}$ 、 $W_{M2} \subset W_{M3}$ 和 $(W_{M1} - W_{M2}) \subset W_{M3}$, 则

$$(W_{M1} - W_{M2}) \text{ g } W_{M3} = W_{M1} \text{ g } W_{M3} - W_{M2} \text{ g } W_{M3}$$

证明略, 详见文献[8]。

定理 3 的性质(2)在形式上同经典集合运算的性质一样。性质(1)、(3)、(4)分别不同于经典集合运算的如下性质: (1) 若 $U \subset V$, 则 $U - V = \emptyset$; (2) $(U - V) + V = U$ 当且仅当 $V \subset U$ 时成立; (3) $(U + V) - V = U - V$, 仅当 $U \text{ g } V = \emptyset$ 时有 $(U + V) - V = U$ 。性质(5)表明多重集的差集/交集运算分配率的成立是有条件的, 如果不满足性质(5)的条件, 则其分配率往往不成立,

这与经典集合运算 $(U - V) \text{ g } Y = U \text{ g } Y - V \text{ g } Y$ 始终成立是不一样的。性质(2)的物理意义是从一个制造模式中依次去掉两个模式等于从该模式中去掉这两个模式的组合模式。性质(3)的物理意义是一个制造模式先去掉再加上同一模式后保持原模式不变。性质(4)的物理意义是一个制造模式先加上再去掉同一模式后保持原模式不变。性质(3)和(4)在任何情况下都成立, 这就保证了一个制造模式经一系列增减模式操作后能够还原为原来的模式, 从而确保了模式增减操作和结果的完整性, 解决了经典集合运算的元素信息丢失和集合还原问题。

类似于定理 2, 元素系数不趋于零的多重集也不具有经典集合运算的如下性质。

$$(1) V - \sum_{i=1}^{\infty} U_i = \prod_{i=1}^{\infty} (V - U_i)$$

$$(2) V - \prod_{i=1}^{\infty} U_i = \sum_{i=1}^{\infty} (V - U_i)$$

由于两个知识网之间往往存在联系、继承流和信息流, 所以在两个知识网合并时应增加两者之间的联系、继承流和信息流, 在两个知识网相减时应去掉这些联系、继承流和信息流, 否则将使被减知识网不完备。实际上这些联系、继承流和信息流恰好是两个知识网之间的割集。为此给出定义 8~10。

定义 8 如果一个知识网中任意一个复合联系、信息联系、继承流或信息流当且仅当与两个知识点相联, 则称该知识网是完备的, 否则是不完备的。

定义 9 两个知识网之间所有复合联系、信息联系、继承流和信息流的全体称为这两个知识网之间的割集。

定义 10 若将一个割集中所有元素乘以相应的有界实系数, 则由所有这些带有系数的元素组成的全体称为该割集上的多重割集。

定义 5~7 对多重集上并、交、差运算的定义也完全适合多重割集。定理 1~3 关于多重集上并、交、差混合运算的性质对多重割集也同样成立。根据定义 5~7 及定理 1~3 就可对相应于各种先进制造模式的多重集及多重割集进行并、交、差混合运算, 从而形成新的多重集, 然后根据定义 3 将该新多重集映射成新的知识网, 再将该新知识网映射并构成新的 Agent 网, 最终得到新的制造系统。

为多重集运算的方便, 在定义 2 中允许多重集包含负系数。例如, 对于定理 3 的性质(3), 如果 W_{M1} 和 W_{M2} 均只包含非负系数的元素, 且 W_{M1} 中每种正系数元素的数量均大于 W_{M2} 中相应种元素的数

量,但 W_{M2} 包含了 W_{M1} 不具有的正系数元素,则 $W_{M1}-W_{M2}$ 必定包含负系数的元素,这些负系数的元素正好是 W_{M2} 包含的而 W_{M1} 不具有的正系数元素,这样 $W_{M1}-W_{M2}$ 中的负系数元素正好与 W_{M2} 中但 W_{M1} 不具有的正系数元素相抵消,从而保证了 $(W_{M1}-W_{M2})+W_{M2}=W_{M1}$ 。

为叙述方便,称差集 $W_{M1}-W_{M2}$ 中的 W_{M1} 为被减多重集, W_{M2} 为减多重集。在多重集运算过程中,一旦出现中间或最终得到的多重集含有负系数时,说明可能从被减多重集中去掉了不曾有的元素或去掉了一个不完整模式(即由于被减多重集不包含减多重集的全部,只从被减多重集中去掉了减多重集的一个部分),也可能被减多重集本身包含负系数的元素。这时就应暂停运算,征求用户的意见,提问负系数的元素是否为用户所希望或预料之中的,是继续运算,还是回溯以查找产生负系数的原因。这样,就很自然地把人的智力和多重集运算结合在一起,使用户能够把握多重集运算的全过程,减少出错(从某种意义上说,负系数也是一种出错提示)并最大限度地获得用户所希望的结果。

在实际中,一个系统或软硬件模块的功能发生变化时,系统或模块的名称可保持不变,也就是说,具有相同名称的系统或软硬件模块可以具有不同功能。当两个具有相同名称但不具有相同功能的系统或软硬件模块需要组合时,可将两者的功能合并在一个系统或模块之中并保持系统或模块的名称不变,对于这种情况,很容易用知识网和多重集进行处理。首先,将这两个系统或模块用知识网和多重集来表示。系统或模块的名称相同意味着两者的知识点名相同,两者的功能不同意味着两者的 F_p 包含不同元素。然后,求两者多重集的并集。该并集中与系统或模块同名的元素系数为 2,与两者相同功能对应的元素系数为 2,与两者不同功能对应的元素系数为 1。再根据定义 3 将该并集映射成新的知识网(包含一个与系统或模块同名的知识点和两者的所有功能),并由此映射构成新的 Agent 网,最终得到新的同名复合系统或模块。

3 知识网的实现

如上所述,先进制造模式需由知识网表示,各种先进制造模式的组合则需通过知识网上多重集的并、交、差混合运算来实现。再考虑到关系数据库具有很强的数据处理和管理功能,便于处理复杂数据,也便于知识化制造系统中各子系统和模块的数据共享与集成。因此采用关系数据库基表来实现知

识网及其多重集,如表 1~5 所示。

表 1 先进制造模式与知识网之间映射关系基表结构

	数值/字符	关键词	非空
先进制造模式名	Char (200)	是	是
根知识点号	Char (20)	是	是
版本	Char (10)	是	是

表 2 知识网公共属性基表结构

	数值/字符	关键词	非空
知识点号	Char (20)	是	是
父知识点号	Char (20)	是	是
版本	Char (10)	是	是
知识点名	Char (100)	—	—
多重知识点数	Number (5, 2)	—	—
多重父知识点数	Number (5, 2)	—	—
Agent 名	Char (100)	—	—
仿真程序名	Char (100)	—	—
虚拟 Agent	Char (3)	—	—

表 3 知识点间继承流和信息流基表结构

	数值/字符	关键词	非空
根知识点号	Char (20)	是	是
版本	Char (10)	是	是
输入知识点号	Char (20)	是	是
输出知识点号	Char (20)	是	是
父子知识点间	Char (3)	是	是
信息	Char (200)	是	是
多重信息数	Number (5, 2)	—	—

表 4 知识点功能描述基表结构

	数值/字符	关键词	非空
根知识点号	Char (20)	是	是
版本	Char (10)	是	是
知识点号	Char (20)	是	是
功能描述	Char (240)	是	是
多重功能数	Number (5, 2)	—	—

表 5 虚拟 Agent 基表结构

	数值/字符	关键词	非空
虚拟 Agent 名	Char (20)	是	是
分 Agent 名	Char (100)	是	是
分 Agent 仿真程序名	Char (100)	—	—

表 1 存放先进制造模式与知识网之间一对一的映射关系。“版本”表示先进制造模式的版本。同一先进制造模式可以有多个版本并由版本来区分。表 1 中每个根知识点及其版本与表 2 中其父知识点号为“否”的唯一知识点(即根知识点)及其版本相对应。

表 2 存放知识网的树形结构和公共属性,是知识网定义中有限知识点集 $P=\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 和有

限复合联系集 $R = \{r_1, r_2, \Lambda, r_n\}$ 及相应多重集元素的关系数据库基表实现, 也反映了知识点集 P 与 Agent 集之间一对一的映射关系。从每个根知识点开始, 依据相应知识网的树形结构, 可遍历所有知识点。知识网的树形结构是有限复合联系集 R 的一种组织形式, 它由“父知识点号”和“知识点号”递归实现。为增加相应子 Agent 的利用率, 一个知识网中一个子知识点可能有多个父知识点, 但为存储方便, 表 2 中每个知识网单独存放, 知识网之间互不关联。“多重知识点数”表示知识网多重集中相应知识点的元素系数。“多重父知识点数”和“多重知识点数”的组合则表示知识网多重集中相应复合联系的元素系数。“Agent 名”存放 Agent 的路径和名称, 并与“知识点名”一起实现知识点集 P 与 Agent 集之间一对一的映射关系。“仿真程序名”存放仿真程序的路径和名称。每个仿真程序可模拟相应 Agent 的功能和行为。“虚拟 Agent”表示相应 Agent 是否为虚拟 Agent。一个虚拟 Agent 逻辑上由多个功能相同或互补的分 Agent 组成。定义虚拟 Agent 的目的是将那些在逻辑上可合并但在物理上不易合并的 Agent 合并在一起。

表 3 存放(父子和非父子)知识点间继承流和信息流。“父子知识点间”为“是”的是知识网定义中集合 R 上所有继承流和信息流的有限集 $F_R = \{F_{r1}, F_{r2}, \Lambda, F_{rn}\}$ 及相应多重集元素的关系数据库基表实现, 对于这种情况, 一对父子知识点间可能存在多个继承流和信息流, “多重信息数”表示知识网多重集中父子知识点间相应继承流和信息流的元素系数。“父子知识点间”为“否”的是知识网定义中除了父子知识点之外的知识点间有限信息联系集 $M = \{m_1, m_2, \Lambda, m_k\}$ 及其上所有信息流的有限集 $F_M = \{F_{m1}, F_{m2}, \Lambda, F_{mk}\}$ 和相应多重集元素的关系数据库基表实现, 对于这种情况, 一对知识点间可能存在多个信息流, “多重信息数”表示知识网多重集中除了父子知识点之外的知识点间相应信息流的元素系数。如果一个知识点需要发送信息给用户, 则“输入知识点号”为空, 因为用户不是知识网中的知识点。类似地, 如果一个知识点需要从用户处获得信息, 则“输出知识点号”也为空。由于“输入知识点号”和“输出知识点号”不能为空, 为此应将用户当作虚拟知识点并将其编号置入两者之一中。表 3 中“父子知识点间”为“否”的记录也隐含了知识点间有限信息联系集 M , 因为两知识点间有信息流则必有联系, 反之则无, 所以没有必要为联系集 M 单独建立数据库基表。

表 4 存放知识点功能描述, 是知识网定义中集

合 P 上所有功能的有限集 $F_P = \{F_{p1}, F_{p2}, \dots, F_{pm}\}$ 及相应多重集元素的关系数据库基表实现。表 4 中, 一个知识点可能存在多个功能, “多重功能数”表示知识网多重集中与知识点相应功能对应的元素系数。在实际中, 尽管两个不同知识网都可以包含名为 a 的知识点, 但是两者之中各自包含的知识点 a 可以有不完全相同的功能。同样, 尽管两个不同知识网都可以包含知识点 a 与 b 之间的信息流, 但是两者之中各自包含的知识点 a 与 b 之间的信息流可以不完全相同, 所以表 3、4 中都包含了“根知识点号”以示区别。表 5 存放虚拟 Agent 的组成。一个虚拟 Agent 逻辑上由多个功能相同或互补的分 Agent 组成。表 5 中, “分 Agent 名”和“分 Agent 仿真程序名”存放两者的路径和名称。

4 知识网的推理机

知识网推理机的任务是从用户给定的多重集上并、交、差混合运算表达式推理出新的知识网。考虑到知识网的复杂性, 推理机实现的基本思想是计算机推理与人的智能相结合, 充分利用人的智能解决复杂问题, 帮助用户获得需要的知识网。

知识网推理机的实现框图如图 2 所示。图 2 中, 多重集混合运算表达式由括号, “+”(并), “&”(交), “-”(差), “=”(等于), “,”(元素之间的分隔), “;”(表达式结束)和表示知识网多重集的字符串(包括知识网多重集的存放地, 如知识网库、黑板等)等组成。运算优先次序是指多重集上并、交、差混合运算的优先次序, 即从前至后, 括号优先, 先交(&)后并(+)差(-)。最简表达式是指仅由一个运算符(+、&或-)和两个参加运算的多重集组成的最简单的表达式。

知识网的结构复杂性可用知识点及知识点之间联系的多少来度量。知识点和联系越多, 则结构越复杂, 反之越简单。在两个知识网合并时, 为简单起见, 应将结构简单的知识网合并到结构相对复杂的知识网中。但是应如何合并才合适呢? 应在高层合并还是在底层合并呢? 这就需要研究和制定启发式的合并规则。一般来说, 首先恢复两个知识网之间原来存在的复合联系(如果两个知识网之间原来存在复合联系, 则在表 2 中两个知识网一定至少互为相反地包含一个对方的父知识点号或知识点号, 并且相应的多重父知识点数或多重知识点数为零, 根据这个特征, 就可自动恢复两个知识网之间原来存在的复合联系)。如果两个知识网的根知识点相同, 但两者的版本不同, 则可按照定义 5 直接合并。

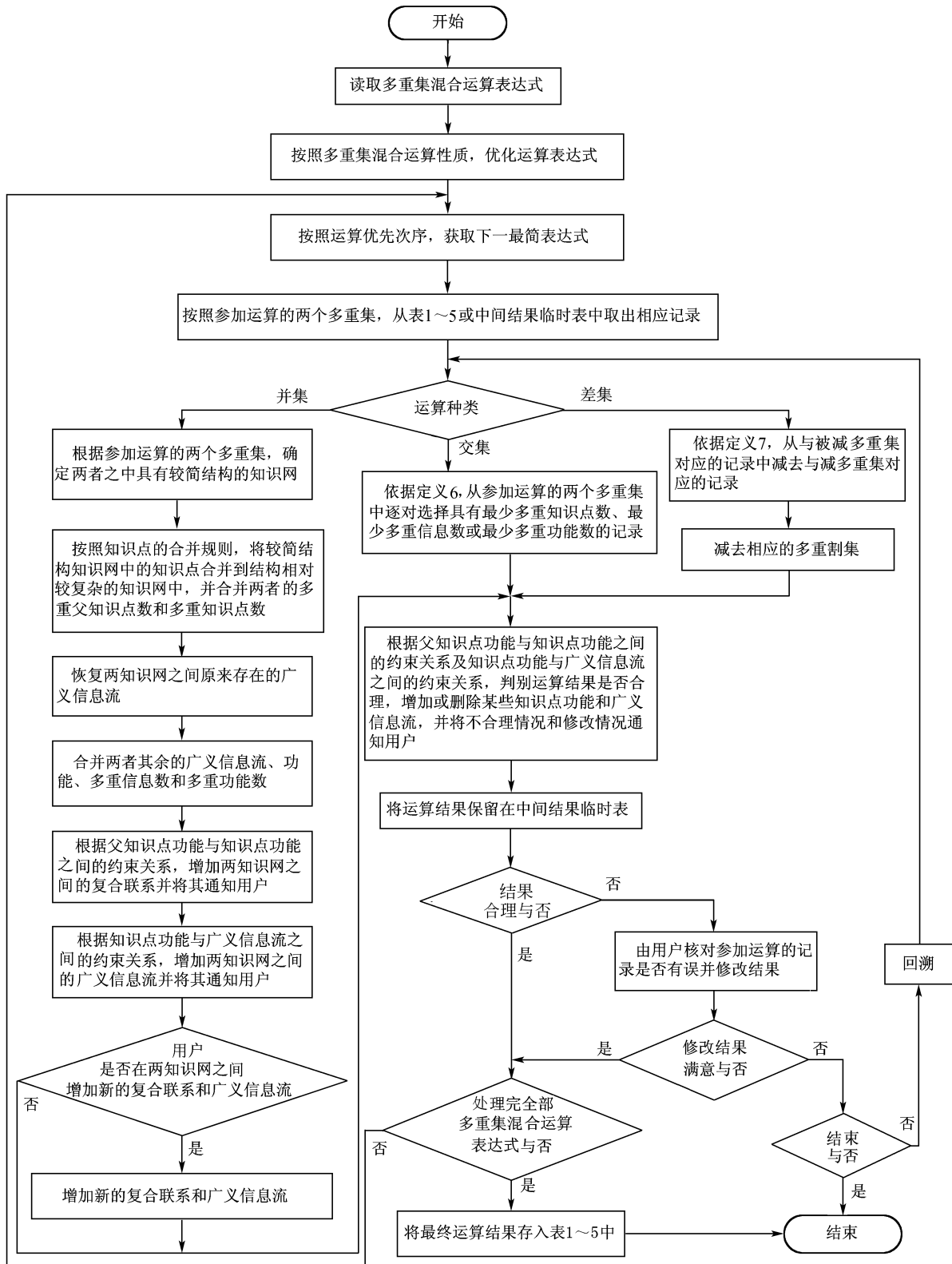


图 2 知识网推理机的实现框图

如果两个知识网有相同部分, 则以相同部分作为两个知识网的公共部分并由此开始逐层向上合并。如果两个知识网有类似部分, 则尽可能将类似部分合并在一起或合并在同一层。如果两个知识网既无相同又无类似部分, 则将两个知识网的根知识点合并

在一起, 并将结构简单知识网中第二层(即比根知识点低一层)的知识点加到结构相对复杂的知识网的第二层中, 其余知识点和联系则随其第二层知识点平移到结构相对复杂的知识网中。除了上述合并规则以外, 还应考虑两个知识网之间广义信息流(包括

继承流和信息流)的恢复问题。如果两个知识网之间原来存在广义信息流,则在表 3 中两个知识网一定至少互为相反地包含一个对方的输入或输出知识点,并且相应的多重信息数为零。根据这个特征,就可自动恢复两个知识网之间原来存在的广义信息流,其实,恢复两个知识网之间原来存在的复合联系和广义信息流就是恢复两个知识网之间原来存在的割集。由用户增加或自动增加两个知识网之间的复合联系和广义信息流则是增加两个知识网之间割集中的元素。

在获得每个最简表达式的运算结果后,应根据父知识点功能与知识点功能之间的约束关系及知识点功能与广义信息流之间的约束关系,判别运算结果是否合理,增加或删除某些知识点功能和广义信息流。此外,鉴于知识网的复杂性,还应将已发现的这些不合理情况和修改情况通知用户,征询用户的意见,询问用户结果是否合理,尤其当结果中出现负系数的时候,更应提醒用户可能出现了错误,这样一来,就可以充分发挥人在解决复杂问题中的主观能动作用。当结果不合理且难以修改,用户又不想结束运算时,可以进行回溯,这里的回溯可以根据用户的要求回溯到当前运算之前任何一个最简表达式运算的开始。

5 基于知识网和 Agent 网的自重构

知识化制造系统的自重构问题可以通过知识网多重集上的并、交、差混合运算和 Agent 网的映射重构进行解决。下面以两个先进制造模式的合并为例介绍其自重构方法。

例 1 由手工运算完成两个先进制造模式的合并。如前所述,一种先进制造模式可用一个知识网来表示。假定制造模式 a 和 a' 的名称相同,即两个知识网的根知识点相同,但两者的版本不同,其功能也不同,分别如图 1 和 3 所示。两个知识网的形式表示和多重集分别为 $W_a = W_{Ma} = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i; a_b, a_c, a_d, b_e, b_g, c_f, c_g, d_h, d_i; b_c, c_d, c_h, e_f, g_h\}$ 和 $W_{a'} = W_{Ma'} = \{a, c, d, g, h, i, j, k, l, m; a_c, a_d, a_j, c_g, d_h, d_i, j_k, j_l, j_m; c_h, c_j, g_m, l_m\}$, 且两个知识网之间的割集及其多重割集为空集。为简化起见,在这两个知识网的形式表示和多重集表示中只依次显示知识点集合 P , 复合联系集 R 和信息联系集 M , 且这三个集合之间用分号隔开,而忽略集合 P 上所有功能的有限集 F_P 、集合 R 上所有继承流和信息流的有限集 F_R

和集合 M 上所有信息流的有限集 F_M 。

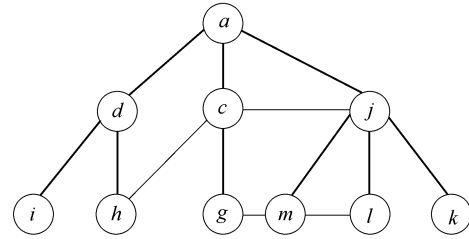


图 3 制造模式 a' 的知识网

由于本例属简单模式合并,可采用如上所述的知识网及其多重集的形式表示,并根据定义 3 和 5 由手工运算完成。具体来说,就是通过定义 5 计算两个相应知识网多重集的并集来实现这两个先进制造模式的组合

$$W_{Ma+a'} = W_{Ma} + W_{Ma'} = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i; a_b, a_c, a_d, b_e, b_g, c_f, c_g, d_h, d_i; b_c, c_d, c_h, e_f, g_h\} + \{a, c, d, g, h, i, j, k, l, m; a_c, a_d, a_j, c_g, d_h, d_i, j_k, j_l, j_m; c_h, c_j, g_m, l_m\} = \{2a, b, 2c, 2d, e, f, 2g, 2h, 2i, j, k, l, m; a_b, 2a_c, 2a_d, a_j, b_e, b_g, c_f, 2c_g, 2d_h, 2d_i, j_k, j_l, j_m; b_c, c_d, 2c_h, c_j, e_f, g_h, g_m, l_m\}$$

再根据定义 3 并取 ϵ 为实数 0, 则该组合模式的知识网的形式表示为

$$W_{a+a'} = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m; a_b, a_c, a_d, a_j, b_e, b_g, c_f, c_g, d_h, d_i, j_k, j_l, j_m; b_c, c_d, c_h, c_j, e_f, g_h, g_m, l_m\}$$

并由此得到该组合模式的知识网的图形表示,如图 4 所示。由于两个知识网的功能、继承流和信息流的合并方法与知识点的合并方法一样,这里不再赘述。

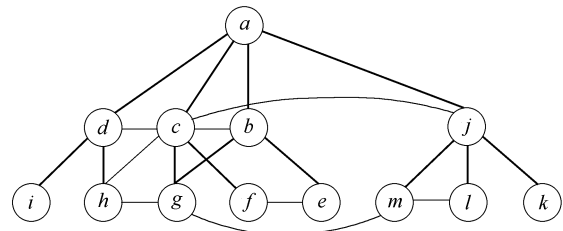


图 4 两个制造模式合并的知识网

对新知识网 $W_{a+a'}$ 的所有知识点、联系、功能、继承流和信息流等进行兼容性和合理性分析,以确保新知识网能够安全可靠地工作。如有必要,还可以由知识化制造系统控制器的仿真与评价模块^[1]通过执行其路径和名字由表 2 给定的相应仿真程序,对新知识网 $W_{a+a'}$ 进行评价,以确定相应的新制造模式是否有效并适合给定企业的具体情况。再将新知识网 $W_{a+a'}$ 映射成新 Agent 网并核实给定企业是否拥

有新 Agent 网中的所有 Agent。假定给定企业已拥有新 Agent 网中的所有 Agent 且知识化制造系统控制器的黑板^[1]中原来运行的知识网及其多重集存放在如表 1~5 所示的数据库基表中,其知识网图形如图 5 所示,其知识网和相应多重集的形式表示为

$$W_j = W_{M_j} = \{j, k, l, m; j_k, j_l, j_m; l_m\}$$

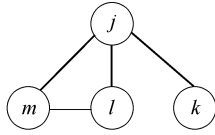


图 5 制造模式 j 的知识网

为在系统重构过程中尽可能少地影响系统的运行和生产的进行,需要知道继续、增加和停止运行哪些 Agent,为此,先做新知识网 $W_{a+a'}$ 和原来运行的知识网 W_j 之间的经典交集及差集

$$W_{a+a'} \cdot W_j = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m; a_b, a_c, a_d, a_j, b_e, b_g, c_f, c_g, d_h, d_i, j_k, j_l, j_m; b_c, c_d, c_h, c_j, e_f, g_h, g_m, l_m\} \cdot \{j, k, l, m; j_k, j_l, j_m; l_m\} = \{j, k, l, m; j_k, j_l, j_m; l_m\}$$

$$W_{a+a'} - W_j = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m; a_b, a_c, a_d, a_j, b_e, b_g, c_f, c_g, d_h, d_i, j_k, j_l, j_m; b_c, c_d, c_h, c_j, e_f, g_h, g_m, l_m\} - \{j, k, l, m; j_k, j_l, j_m; l_m\} = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i; a_b, a_c, a_d, a_j, b_e, b_g, c_f, c_g, d_h, d_i; b_c, c_d, c_h, c_j, e_f, g_h, g_m\}$$

$$W_j - W_{a+a'} = \{j, k, l, m; j_k, j_l, j_m; l_m\} - \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m; a_b, a_c, a_d, a_j, b_e, b_g, c_f, c_g, d_h, d_i, j_k, j_l, j_m; b_c, c_d, c_h, c_j, e_f, g_h, g_m, l_m\} = \emptyset$$

值得一提的是这三个运算均为经典集合运算,而非多重集运算。其中, $W_{a+a'} \cdot W_j$ 、 $W_{a+a'} - W_j$ 和 $W_j - W_{a+a'}$ 分别表示需要保留、增加和终止的知识点及联系(实际中,还应包括知识网的功能、继承流和信息流)。将新知识网 $W_{a+a'}$ 及其多重集 $W_{M_{a+a'}}$ 存放在知识化制造系统控制器的黑板中,以替换原来运行的知识网 W_j 及其多重集 W_{M_j} 。再根据上面获得的需要增加或终止的知识点、联系、功能、继承流及信息流,通知相应的 Agent 加入或终止运行,并通知其增加或减少相应的联系、功能、继承流及信息流,最终完成系统的重构。在计算机中,上述知识网之间的经典交集和差集可由数据库中的数据操纵语言 INTERSECTION (交)和 MINUS (差)来实现。如果给定企业并不拥有上述新 Agent 网中的所有 Agent,

则该企业应先从 Agent 供应商或应用服务提供商处购买或下载所缺 Agent 后,再从 $W_{a+a'}$ 和 W_j 之间的经典交集及差集开始完成以后各步,直至最终完成系统的重构。

对于复杂模式的合并,尤其对此不熟悉的用户,手工运算就不适宜了,这就需要将知识网和多重集的形式表示转换成面向数据库的形式并存放在知识库^[1]中,即如表 1~5 所示的数据库基表中,由图 2 所示的知识网推理机来完成其运算。目前已开发成功了知识网推理机和知识网自重构使能工具^[9-10]。

例 2 由知识网推理机完成某车身厂两个简化管理模式合并。这两个管理模式的知识网如图 6 和图 7 所示。图 6、7 中, a 为车身厂简化的管理信息系统。b 为生产管理模块, b1 为基础数据管理, b11 为零部件清单, b12 为 BOM 表查询, b13 为工作中心, b2 为生产计划与调度, b21 为计划与调度生成, b22 为工作中心能力模拟, b23 为总厂计划, b3 为物料与生产。c 为供应管理模块, c1 为基础数据管理, c11 为物料清单, c2 为原料定制, c21 为申请计划汇总, c3 为定额定制。d 为设备管理模块, d1 为前期管理, d11 为选型信息, d12 设备采购, d2 设备档案, d21 为设备台帐, d22 为设备卡片, d3 为技术状态, d31 为事故故障, d32 为设备一保, d4 为预修预检, d41 为日检, d42 为周检, d5 为设备大修, d6 为特种设备, d61 为电动机, d62 为压力容器, d63 为动力容器。e 为财务管理模块, e1 为凭证管理, e2 为财务报表及分析。f 为库房管理模块, f1 为单据管理, f11 为领料单, f12 为入库单, f2 为生产库房管理, f21 为基础数据维护, f22 为收为计量支报表, f23 为零缺件报表。g 为质量管

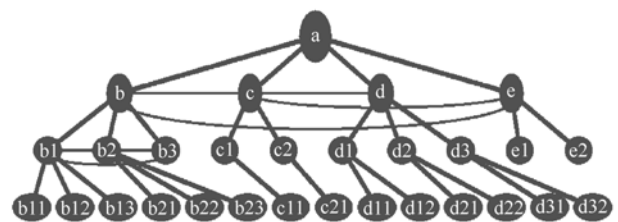


图 6 管理模式 1 的知识网

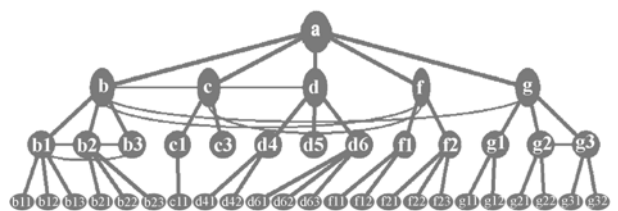


图 7 管理模式 2 的知识网

理模块，g1 管理，g11 为计量台帐，g12 为检查计划，g2 为质量检查，g21 为外协检查，g22 为真空管检查，g3 为质量信息，g31 为缺陷图表，g32 为废品报失。再由知识网推理机完成与该两个管理模式相对应的知识网多重集的并集，并生成新的知识网如图 8 所示。然后利用知识网自重构使能工具的软件自动生成功能，依此新知识网自动生成新的管理信息系统^[9-10]。其软件系统界面如图 9 所示。

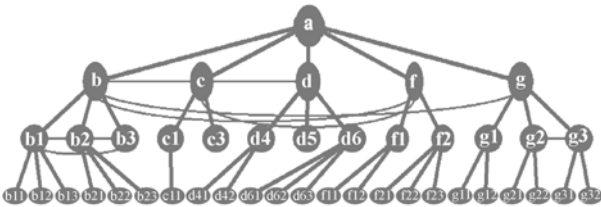


图 8 两个管理模式合并的知识网



图 9 由合并的知识网自动生成的软件系统界面

6 与其他知识表示方法的比较

从知识表示思想的提出来看，知识网是根据知识组织结构和交互特征提出来的，神经网络是模拟人脑的神经组织结构和处理机能提出来的，产生式规则、框架等是模拟人脑的逻辑推理过程提出来的。从知识表示的粒度来看，知识网适于表示宏观知识，产生式规则、框架等适于表示中观知识，神经网络适于表示微观知识。为实现 KMS 自重构，定义了知识网多重集的并、交、差运算，而这在产生式规则、框架等知识表示中是没有的。

知识网与语义网络^[11]的主要区别如下所述。

(1) 知识网及其多重集主要用于先进制造模式的并、交、差混合运算和知识化制造系统的自重构，语义网络主要用于自然语言理解。

(2) 知识网多重集侧重于网与网之间的运算且其并、交、差运算分别定义为代数和、取最小及代数差，而语义网络中只表示连接一个节点的各个弧之间存在“或”、“与”、“非”等关系，且“或”、“与”、“非”关系分别定义为逻辑“或”、“与”、“非”。

(3) 知识网中知识点之间的弧表示复合联系或

信息联系，而语义网络中节点之间的弧则表示自然语言中句子成分之间的关系。

(4) 知识网中定义了知识点功能、继承流和信息流，而这些在语义网络中是没有的。

从一种好的知识表示系统应具备的属性^[11]看，知识网及其多重集作为一种好的知识表示系统，具有以下属性：

(1) 表示先进制造模式的能力，并保证知识网知识库^[1]中的知识是相容的。

(2) 从已知知识网及其多重集经并、交、差混合运算推导出新知识网及其多重集的能力，并容易建立表达新知识所需要的新结构，因为表 1~5 可存放满足定义 1 结构的任意知识网及其多重集。

(3) 便于新知识的获取，最简单的情况是能够由人直接输入知识网及其多重集到知识库中。

(4) 便于知识网推理机调用启发式的合并规则，以便把推理集中在最有希望的方向上。

知识网推理机的主要特点是，将基于多重集上并、交、差混合运算的计算机推理与人的智能结合在一起，充分利用人的智能解决复杂问题。

知识化制造系统自重构的实现^[9]不仅需要借助于知识网多重集上的并、交、差混合运算进行计算机推理，而且需要借助于知识网的经典集合运算获得需要增加或终止的知识点、联系、功能、继承流及信息流，从而通知相应的 Agent 加入或终止运行，并通知其增加或减少相应的联系、功能、继承流及信息流，最终完成系统的重构。

将各种先进制造模式表示成知识网后，可通过知识网多重集运算表达式的优化实现先进制造模式组合的优化^[12]，这是用其他知识表示方法难以实现的。

7 结论

(1) 知识网是与已有知识表示方法完全不同的一种全新的复杂知识表示方法。两个知识网多重集的差运算可能产生不完备的知识网，因而需要通过引入割集和多重割集来解决这个问题。

(2) 基于知识网和 Agent 网的知识表示是建立在知识网多重集理论之上的，两者互相促进，共同发展。知识网的重构对多重集理论提出了迫切要求，促进了多重集理论的研究与发展，反过来又为知识网的重构奠定了坚实的理论基础。

(3) 知识网的形式表示与其图形表示之间存在一对一的映射关系，但两者与其多重集之间均存在一对多的映射关系，也就是说，尽管两个知识网的形式表示和图形表示都相同，两者的多重集未必相同。

参 考 文 献

- [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.
- [2] CHI X, HAOJUN M, ZHEN Z, et al. Research on hybrid expert system application to blanking technology[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 116(2-3): 95-100.
- [3] SHEHAB E M, ABDALLA H S. Manufacturing cost modelling for concurrent product development[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2001, 17(4): 341-353.
- [4] JAIN N K, BHARADWAJ K K, MARRANGHELLO N. Extended hierarchical censored production rules (EHCP-Rs) system: an approach toward generalized knowledge representation[J]. Journal of Intelligent Systems, 1999, 9(3): 259-295.
- [5] TSANG E C C, QIU S, YEUNG D S. Refinement of fuzzy production rules by neuro-fuzzy networks[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, v1, 2000: 200-205.
- [6] 陆金桂, 胡于进, 刘金, 等. 基于人工神经网络的机械设计领域知识表达方法的研究[J]. 机械工程学报, 1995, 31(6): 21-26.
- [7] 陈谋, 姜长生, 吴庆宪, 等. 基于 RBF 神经网络的一类不确定非线性系统自适应 H_∞ 控制[J]. 控制理论与应用, 2003, 20(1): 27-32.
- [8] 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.
- [9] XUE Chaogai, YAN Hongsen. A study on self-reconfiguration of a knowledgeable manufacturing system[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B - Journal of Engineering Manufacture, 2004, 218 (B11): 1 601-1 617.
- [10] 薛朝改. 知识化制造系统自重构的研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [11] 林尧瑞, 马少平. 人工智能导论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1989.
- [12] 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): 996-1 001.

NEW APPROACH TO KNOWLEDGE REPRESENTATION FOR ADVANCED MANUFACTURING MODES

YAN Hongsen

(Research Institute of Automation,
Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract: A new approach to knowledge representation for advanced manufacturing modes based on knowledge mesh (KM) and agent mesh (AM) is proposed to solve the self-reconfiguration problem of knowledgeable manufacturing systems. First, the definition of KMs is given and the relationships between KMs and AMs are presented. The multiple set and its mapping relationships onto the KM are then defined. The union, intersection and minus operations on the multiple sets of KMs are also defined and their related properties are presented. Physical meanings of properties of operations on the multiple sets are studied. Properties of operations on the multiple sets are compared with those of operations on the classical sets. Then the perfectness of a KM, the cut set between the two KMs, and the multiple cut set on the cut set are defined. On the basis of those above, the relational-database-based realization and the inference engine of KMs are studied. The self-reconfiguration methods based on both KMs and AMs are presented through two examples of self-reconfiguration of knowledgeable manufacturing systems, which verifies the validity of these methods.

Key words: Advanced manufacturing modes

Knowledge representation

Knowledge mesh (KM) Agent mesh (AM)

作者简介: 严洪森, 男, 1957 年出生, 教授, 博士研究生导师, 美国工业工程师学会(IIIE)高级会员。主要研究方向为生产计划与调度、知识化制造及并行工程等。获江苏省科技进步二等奖 1 项。

E-mail: hsyang@seu.edu.cn