

文章编号: 1672 - 058X(2009)03 - 0242 - 05

GDSS 环境下一种改进的 QSM 定性推理算法^{*}

陆 胜

(重庆工商大学 计算机科学与信息工程学院, 重庆 400067)

摘 要:分析了传统 QSM 算法的不足,在群体决策条件下,用未确知有理数来改进传统 QSM 的描述能力,用群体建模的方法解决不确定关系的建模问题,实现了具有物理逻辑推理性的 QSM 算法与具有跳跃性思维特征的专家经验推理的融合,使 QSM 算法具有创新决策能力,并部分解决传统 QSM 算法的不完备性。

关键词:定性推理; QSM 算法; 群体决策系统

中图分类号: TP311

文献标识码: A

群决策支持系统 (GDSS) 是智能决策支持系统的重要研究分支之一。GDSS 利用通信技术、计算机技术,运用群决策理论与方法,促进具有不同结构、不同经验、责任的群体对半结构化、非结构化决策问题进行求解^[1]。但在实际需要决策支持的系统中,许多系统由于过于复杂或知识不完备,无法构造系统精确的定量模型,尚未找到精确的数学模型表示方法,只能进行定性描述,为此将定性推理理论与 GDSS 结合对于 GDSS 理论及应用的研究就显得尤其重要。对传统 QSM 定性推理算法存在的问题进行了分析,提出了 GDSS 环境下的基于群体推理的改进 QSM 定性推理算法。

1 QSM 算法及其存在问题

QSM 算法是由美国德州大学 B. J. Kuipers 提出的基于定性微分方程 (QDE) 的定性仿真算法,由于其处理不完全、不确定知识和模糊数据的突出能力而在社会科学、人文科学、管理科学等领域得到了广泛的应用。

1.1 QSM 算法过程

QSM 以描述系统定性结构的定性微分方程和系统的初始状态为算法的输入,依据一定的推理规则,由仿真算法输出系统的预测行为^[2]。具体说,就是给定系统的定性微分方程和它在 t_0 时刻的状态, QSM 算法以状态树的形式预测系统的可能行为,系统的一个特定行为由这棵树的根结点 (初始状态) 到叶结点 (终止状态) 的路径上的所有状态组成,其形式为:

$$\text{Behavior} = \text{state}(t_0), \text{state}(t_0, t_1), \text{state}(t_1), \dots, \text{state}(t_n)]$$

QSM 算法可归纳为以下公式:

$$\text{QSM}: (\text{QDE}, \text{state}(t_0) \quad \text{or}(B_1, B_2, B_3, \dots, B_k) \quad (1)$$

式 (1) 中, B_i 为系统的一个可能行为。由 QSM 算法所产生的 k 个行为中的一个或几个是系统的真实行为,产生多个行为的原因是由于系统参数值的不确定性引起的,因此 QSM 算法是充分的但不是完备的。其

收稿日期: 2009 - 02 - 26; 修回日期: 2009 - 03 - 19。

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50075087)。

作者简介: 陆胜 (1974 -), 男, 重庆人, 博士, 副教授, 主要从事电子信息科学研究。

主要步骤为 : 不断选取当前状态 , 然后产生其所有可能的后继状态 , 最后过滤掉与定性约束不一致的状态 , 从而创建一棵系统状态树。

通常地 , 可以将 QSM 看做是约束满足问题 (CSP, constraint satisfaction problem) , CSP 的定义如下 :

[定义 1] 一个 CSP 定义为三元组 $\langle V, D, P \rangle$, 其中 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 一组变量集合 ; $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, 是相应于变量集 V 中每个元素的值域集合 , D_i 对应于 V 中 v_i 的取值范围。 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, 约束关系的集合 , $\forall P_j \ V_j (\subseteq V)$, 且 $\forall v_i \ P_j (P_j \ P, v_i \ V)$ 。于是 , 对于 CSP 问题的求解 , 就可以看作所有满足 P 的关于变量 V 的 n 元集合 , 具体定义如下 :

[定义 2] CPS 问题 $\langle V, D, P \rangle$ 的解为 n 元组 $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$, 而且满足 : $x_i \ D_i (i = 1, 2, \dots, n)$; 做替换 $\{v_1 / x_1, v_2 / x_2, \dots, v_n / x_n\}$ 时 , $\forall P_j (P_j \ P)$ 成立。

由此可知 , 定性仿真的结果是一组包含真实系统行为在内的多个行为的集合 , 根据系统的定性约束 , 为了过滤掉与定性约束不一致的状态 , 简化到某个满意的精确度 , QSM 主要采用的是 C-filter 算法 , 来求解变量值域、系统状态 , 并针对冗余行为进行过滤处理。 C-filter 算法的流程如下 :

给定 QDE 和初始状态信息 , 构造 CSP 问题 $\langle V, D, P \rangle$, 然后 :

- (1) 值域求解。对 $v_i \ V$, 根据 P - 转移和 I - 转移规则 , 确定其值域 D_i ;
- (2) 节点一致性。该算法确保相对于 QDE 中每一约束方程时 , 变量取值组合的一致性 ;
- (3) 弧一致性。该算法确保同一个变量在不同约束方程中的取值的一致性 ;
- (4) 全局搜索。根据上述过滤结果 , 检索剩余的变量取值组合 , 构成系统新的状态集 , 记录为当前仿真状态的子节点 , 并作为下一个时间戳的仿真起点。

C-filter 需要用到过的过滤算法定义如下 :

[定义 3] 约束一致性过滤准则。要检查定性值的一致性和变换方向的一致性。如给定函数 f, g, h 通过约束 $C(f, g, h)$ 联系着 , 如果某次转换产生了一个元组 : $C(f, g, h)$ 。

若 f, g 的后继状态是 $\langle l_j, inc \rangle$, h 的后继状态是 $\langle l_j, std \rangle$, 根据约束 , 这个元组应该被过滤掉 , 因为 $f + g = h$, f 和 g 的变化方向都是增加 (inc) , h 变化方向也应该是增加 (inc)。

[定义 4] 弧一致性过滤准则。如果两个或多个定性约束用到同一个变量 (称之为邻接约束) , 则该变量在各个约束中的取值应相同。为了保证相邻约束中的共享函数一致的转换状态 , 需依次访问每个约束 , 查看所有与它相邻的约束 , 由它们所联系着的元组组成元组对。如果一个元组赋予共享函数的转换在和它相邻的一个约束的所有元组中不存在 , 则滤掉这个元组。

在一致性弧过滤之后 , 相应于每一个约束 , 都有该约束包含的变量 (2 个或 3 个) 所取的定性值的组合 , 全局搜索算法会进一步找出满足全部约束的“值对” , 得到系统状态的后继“子状态”集合 , 仿真将在这一新的集合上迭代进行。

1.2 QSM 算法存在的问题

(1) QSM 算法的定性不确定知识表示方法较为单一。QSM 算法是基于物理的逻辑推理算法 , 人们可以用区间数、模糊数等表示不确定性知识 , 因而它能在一定程度上进行不确定性知识推理。De Kleer^[3]认为定性推理的量值空间就是对实数域 R 的不同区间划分 ; Forbus^[4]研究了带区间标号的约束传播 ; Williams^[5]试图将定性 with 定量相统一 , 提出了 SRIF 方法 ; Kuipers^[6]研究了将区间数作为定量信息与定性仿真集成的方法 , 在 QSM 算法的基础上用区间数表示约束 , 提出了 Q_2 算法 , 进而又提出了 Q_3 算法 ; Shen Q, R. Leitch^[7]将模糊理论与定性推理相结合 , 用模糊量来描述定性推理的知识。但区间数、模糊数都不能有效地描述普遍存在的事物本身是确定的而现今对事物的认识是未知的这样一类知识。况且在实际工作中参数之间的关系是因时因地变化的 , 从而出现了参数之间关系的不确定性。对不确定性参数关系的描述给定性系统建模造成了困难。



(2) QSM算法不能产生新行为。基于物理的逻辑定性推理的 QSM算法具有时间复杂性和不完备性,改进 QSM算法通过引入若干约束改善了系统的描述能力,减少了仿真过程中的冗余定性关系的产生,提高了系统的推理能力。但要真正地实现 QSM算法与 GDSS的融合,使 QSM算法能够辅助复杂问题的决策,仅仅改善 QSM算法的物理逻辑推理能力是远远不够的。决策是一个总结历史、预测未来,依赖环境从若干个可行方案中抉择最优方案的过程,是一个创新过程。它需要 QSM算法的依据物理事实而进行定性推理过程的支持,也需要专家具有跳跃性思维特征的依据对该问题的经验而做出具创意判断的支持,两者缺一不可。

(3) QSM算法具有不完备性。由于在建立系统的定性约束方程时,将实际系统进行了抽象,并且将定性仿真用于具有不完备知识系统的仿真,同时定性模型又含有系统的不完全知识,所以定性仿真产生多余的行为是不可避免的。定性仿真的研究的方向之一就是如何减少这种实际系统中并不存在的虚假行为。

2 GDSS环境下的 QSM算法

根据以上对传统 QSM算法缺陷的分析,从以下 3个方面对传统 QSM算法进行改进,提出一种 GDSS环境下的 QSM算法。

2.1 提高 QSM算法的定性知识描述及不确定参数关系的建模能力

(1) 用未确知有理数来表示定性知识。在定性问题的处理中,通常人们用区间数、模糊数描述定性知识。用区间数描述一个数落在 $[a, b]$ 上,那么这只是一个区间灰数,即是一个部分已知部分未知的量;当用区间 $[a, b]$ 表示一个数所在的区间,同时用一个分布函数来描述这个数在该区间上的分布情况时,就比灰数的描述增加了“确定”含量,这就是未确数表示法。未确知有理数是最基本、最简单、应用最广泛、使用最方便的未确知数,它是实数的推广,它能精细地刻画和表达许多客观现实中的“未确知量”。

[定义 5] 对任意区间 $[a, b], a = x_1 < x_2 < \dots < x_n = b$,若函数 (x) 满足:

$$(x) = \begin{cases} i, & x = x_i (i = 1, 2, \dots, n) \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

且 $\sum_{i=1}^n i = (0 \quad 1)$,则称 $[a, b]$ 和 (x) 构成了 n 阶未确知有理数,记作 $[[a, b], (x)]$,称 $[a, b]$ 和 (x) 分别为该未有理数的总可信度、取值区间和可信度分布密度函数。由分布函数 (x) 可知,其值区间 $[a, b]$ 中的可信度为 i ;使 (x) 非零的 x 取值个数 n 为该未确知有理数的阶数, $n = 1$ 且 $i = 1$ 时的未确知有理数即为实数。

在定性问题的分析中引入未确知有理数,能增强 QSM算法对于未确知知识的描述能力,从而能改善 QSM算法的不确定性推理能力。

(2) 用群体决策的方法来解决不确定参数关系的建模问题。用 $M(f, g, \alpha)$ 来表示参数 f, g 之间的单调关系,其中 $\alpha \in [-1, 1]$ 表示单调关系增减的程度。 $\alpha = 1$ 表示 f, g 之间是明确的单调增关系,即 $M_+(f, g)$; $\alpha = -1$ 表示 f, g 之间是明确的单调减关系,即 $M_-(f, g)$; $\alpha = 0$ 表示 f, g 之间是无单调关系,即 $M_0(f, g)$; $-1 < \alpha < 1 (\alpha \neq 0)$ 表示 f, g 之间单调关系的程度。具体建模时,面对复杂的环境,就可以用群体决策的方法来确定复杂情况下参数之间的关系。若第 $i (i = 1, 2, \dots, n)$ 位专家对 f, g 关系的判断的结果为 $\alpha_i (\alpha_i \in [-1, 1])$,而这位专家的可信度为 $\beta_i (\beta_i \in [0, 1])$, $\alpha = \sum_{i=1}^n \beta_i \alpha_i$ 为群体判断值。设阈值为 $\alpha_0 (\alpha_0 > 0)$,若 $\alpha \geq \alpha_0$ 可认为 f 与 g 的单调关系为 $M_+(f, g)$;设阈值为 $\alpha_0 (\alpha_0 < 0)$,若 $\alpha \leq \alpha_0$ 可认为 f 与 g 的单调关系为 $M_-(f, g)$ 。

2.2 实现 QSM定性推理算法与专家群体推理方法的集成

根据前面的分析,QSM算法是一个物理逻辑推理算法,其特征是从状态 A_i 根据物理逻辑推出下一个状态 A_{i+1} ,它不能产生决策支持系统所必需的创新决策。GDSS环境下的 QSM算法的基本思想是强调专家知识在其创新推理中的作用,各位专家可以依据自己的知识、经验,根据 QSM算法的若干定性状态进行综合判断、预测,从而推出下一后续状态。GDSS环境下的 QSM算法通过各专家建立的定性状态树的合成来实现 QSM推理算法与专家群体经验推理方法的融合。

(1) GDSS环境下 QSM算法定性状态树可以表示为 $T = (C_{ij})_{n \times n}$ 。其中:

$$C_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若 } A_i \rightarrow A_j \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(2) GDSS环境下 QSM算法定性状态树的合成。若第 $L(L = 1, 2, \dots, m)$ 专家在传统 QSM算法所产生的定性状态树 T 的基础上,根据待决策问题的实际情况,通过知识发现及经验推理修正状态 T 为定性状态树,即 $T_L = (C_{ij}^{(L)})_{n \times n}$ 。设第 L 位专家的置信度为 $C_0(L = 1, 2, \dots, m)$,则 GDSS环境下 QSM算法定性状态树为: $T = (C_{ij})_{n \times n}$ 。其中:

$$C_{ij} = \begin{cases} 1, & \sum_{L=1}^m C_{ij}^{(L)} \geq C_0 \\ 0, & \sum_{L=1}^m C_{ij}^{(L)} < C_0 \end{cases}$$

C_0 为预先给定的阈值。合成的定性状态树集中了专家的智慧,实现了 QSM算法与专家经验推理的融合,专家通过对传统 QSM算法所得到的定性状态树表示的定性行为进行系统分析,根据待问题的实际情况,可以删除传统 QSM算法所产生的虚假定性行为,从而用专家群体推理及定性状态树合成的方法在一定程度上消除了传统 QSM算法定性状态树冗余行为。

3 GDSS下的定性推理 QSM算法的步骤

(1) 群体定性建模。用群体定性建模方法确定不确定性的函数关系,从而与确定的定性约束方程构成定性微分方程组;

(2) 状态索引表的初始化。将与定性约束方程一致的完备初始状态的 $Q_{state}(t_0)$ 放入活动约束状态表,用状态完备约束给定的初始信息对其初始化,并用过滤约束算法对定性约束方程中变量的值域进行初始化;

(3) 定性状态树的合成。各专家参考传统 QSM算法形成的定性行为树,根据待决策问题的实际情况,用经验推理的方法建立各自的推理定性行为树;并对各专家建立的定性行为树进行合成,得到合成定性行为树;

(4) 算法终止条件检验。如果活动状态表为空。或超出资源限制,或目标状态已产生,则确定系统的定性行为树;

(5) 约束不一致性检查。对没有约束规则的每一个约束,将各个函数独立产生的状态转换组合为相应的二元或三元组,对这些元组根据约束加以检验,过滤掉与约束不一致的元组;

(6) 配对一致性检查。对元组进行配对一致性过滤,具有相同函数的两个元组对同一函数的转换必须一致;

(7) 全局过滤;

(8) 全局解释;

(9) 转到步骤 (2)继续。

4 结 论

在群体决策条件下,用未确知有理数来改进传统 QSM 的描述能力,用群体建模的方法解决不确定关系的建模问题,能够实现具有物理逻辑推理性的 QSM 算法与具有跳跃性思维特征的专家经验推理的融合,使得 QSM 算法具有创新决策能力,并部分解决传统 QSM 算法的不完备性。

参考文献:

- [1] HOSEN B. Group Decision Support System [J]. Journal of Management, 1996 (2): 56-62
- [2] KUPER B J. Qualitative Reasoning: Modeling and Simulation with Incomplete knowledge [M]. London: the MIT Press, 1994
- [3] KLEER D. A View on Qualitative Physics [J]. Artificial Intelligence, 1993 (4): 105-114
- [4] FORBUS K D. Self-explanatory Simulators: Making Computers Partners In the Modeling Process [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1994, 36: 91-101
- [5] WILLIAMS B C, KLEER J. Qualitative Reasoning about Physical System: A Return to Roots [J]. Artificial Intelligence, 1991, 51: 39-94
- [6] KUPER B J, CHU C, DALLE D T. High-order Derivative Constraints in Qualitative Simulation [J]. Artificial Intelligence, 1991, 51: 343-379
- [7] SHEN Q, LEITCH R. Integration Commonsense and Qualitative Simulation by the Use of fuzzy Set [J]. Proceedings 4th International Workshop on Qualitative Physics Lugano Swizerland, 1990 (6): 121-131

Improvement of the QSIM algorithm under GDSS circumstance

LU Sheng

(School of Computer Science and Information Engineering,
Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: The deficiency of traditional QSM (qualitative simulation for imprise model) algorithm was analyzed Using unconfirmed rational number to improve the description capacity of QSM, and using group modeling method to model the uncertain relationship under the GDSS circumstance, the QSM with character of physics logical reasoning and experts' experience reasoning with character of jumping thinking are combined together, which not only made the QSM algorithm be capable to make a innovational decision, but also made the incomplete quality of traditional QSM algorithm be partly solved

Key words: qualitative reasoning; QSM algorithm; group decision support system

责任编辑:田 静