

基于模糊综合评判的 M&S 可信性评估研究^{*}

吴 静, 吴晓燕, 高忠长, 滕江川
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要: 为保证 M&S 可信性评估工作有效和成功地完成, 构建了由影响因素、校核与验证(verification and validation, V&V)过程和可信性特性组成三维可信性信息空间, 并以此为理论基础, 以 V&V 过程模型为基本框架, 综合分析可信性在 V&V 过程中不同阶段的评价标准, 建立了 M&S 可信性评估模型; 在分析了模糊综合评判模型的基础上, 以某飞行视景仿真系统的设计与开发为例, 进行可信性评估。应用实例表明, 所建立的评估模型及采用的评估方法合理有效。

关键词: 可信性评估模型; 三维可信性信息空间; 校核与验证; 可信性特性; 模糊综合评判
中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2009)12-4509-04
doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2009.12.030

Research on M&S credibility evaluation based on FSE

WU Jing, WU Xiao-yan, GAO Zhong-chang, TENG Jiang-chuan
(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan Shaanxi 713800, China)

Abstract: Aiming at executing the M&S credibility evaluation efficiently, established cost-effectively and successfully, established the three-dimensional credibility information space consisting of influencing factors, V&V process, and credibility characteristics. According to the theory of the three-dimensional credibility information space, based on the V&V process, combined with the detailed discussion of credibility characteristics, the M&S credibility evaluation model was set up, which was the foundation of credibility evaluation. Based on fuzzy math theory, applied a fuzzy synthesis evaluation (FSE) method to the credibility evaluation of a certain flight visual simulation system. The result of which shows the reasonability and validity of the proposed approach.

Key words: credibility evaluation model; three-dimensional credibility information space; verification and validation(V&V); credibility characteristics; fuzzy synthesis evaluation(FSE)

0 引言

随着建模与仿真在复杂仿真系统分析与研究中的广泛应用, 对建模与仿真的可信性也提出了更高的要求。M&S 的可信性被视为建模与仿真的生命线, 缺乏足够可信性的建模与仿真是没有任何意义的, 其仿真结果可能会对建模与仿真用户的决策产生误导, 甚至可能带来重大的经济和生命损失^[1]。因此, 可信性评估技术及其应用是国内外仿真界关心和研究的重点与热点之一。

进行 M&S 可信性评估, 通常是针对仿真系统的仿真运行及仿真结果, 选取合适的指标, 建立指标体系, 然后用模型运行结果和实际系统运行结果进行比较和统计, 对指标体系进行综合评判, 最终得出仿真结果在多大程度上能够满足用户进行决策和分析的要求。然而, 随着先进仿真技术的迅猛发展、仿真应用规模的不断扩大以及 M&S 复杂程度的不断提高, M&S 可信性评估面临大量不确定性、模糊性、复杂性因素, 同时, M&S 开发的各个阶段都对仿真系统的可信性产生重要影响, 因此, 仅仅依赖于仿真结果的分析评估并不能全面、综合地反映 M&S 的可信性。

为保证 M&S 可信性评估工作有效和成功地完成, 综合分析建模与仿真的全过程对可信性的影响, 本文首先提出了三维可信性信息空间理论, 建立了由影响因素、V&V 过程和可信性特性组成三维可信性信息空间, 并在此基础上构建了 M&S 可信性评估模型。在分析了模糊综合评判模型的基础上, 以某型驾驶式飞行视景仿真系统的设计和开发为例, 进行 M&S 可信性模糊综合评判。

1 三维可信性信息空间

M&S 可信性评估建立在全面、综合、系统地理解 M&S 可信性概念体系的基础之上, 因此, 构建三维可信性信息空间, 不仅能够辅助理解 M&S 可信性, 对于可信性评估模型的建立也具有一定的指导意义。以各阶段紧密相连的 V&V 过程作为基础, 以该过程中涉及到的可信性影响因素(数据、模型、仿真运行和仿真结果)作为对象, 并同时考虑到可信性特性(即可信性评估指标), 构建了由影响因素维、V&V 过程模型维和可信性特性维组成的三维空间结构, 即三维可信性信息空间。该空间结构如图 1 所示。

M&S 可信性是 M&S 相关的每一个因素可信性的综合

收稿日期: 2009-02-23; 修回日期: 2009-05-15 基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2007F40)

作者简介: 吴静(1983-), 男, 江苏东台人, 博士研究生, 主要研究方向为建模与仿真 VV&A、可信性评估(ken1983414@126.com); 吴晓燕(1957-), 女, 陕西西安人, 教授, 博士, 主要研究方向为系统建模与仿真、仿真系统 VV&A; 高忠长(1986-), 男, 福建三明人, 硕士研究生, 主要研究方向为系统建模与仿真、仿真系统 VV&A; 滕江川(1982-), 男, 安徽芜湖人, 博士研究生, 主要研究方向为建模与仿真 VV&A、可信性评估。

反映。在仿真系统全生命周期中,影响 M&S 可信性的主要因素^[2]如图 2 所示。

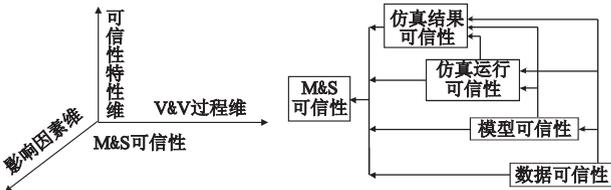


图1 三维可信性信息空间

图2 M&S可信性影响因素

1.1 影响因素

1) 数据可信性 它是仿真系统的使用者拥有对 M&S 过程所使用、运行和产生的数据能够服务于特定应用目的的信心。数据校核、验证和认证(VV&C)是保证数据可信性的有效途径。

2) 模型可信性 它是仿真系统的使用者拥有对 M&S 过程所建立的模型能够服务于特定应用目的的信心,它与建模各阶段相关。模型可信性包括概念模型可信性、仿真模型可信性和集成模型可信性^[3]。影响模型可信性的主要因素有数据可信性、模型有效性、模型正确性、模型精度、模型分辨率、仿真算法等。

3) 仿真运行可信性 它是指仿真系统的使用者拥有对仿真系统的运行全过程能够服务于特定应用目的的信心。因此仿真过程可信性是仿真数据、仿真模型、仿真系统运行时所表现的动态特征的综合体现。影响仿真过程可信性的主要因素有数据可信性、模型可信性、物理效应特性、时空一致性、时间反应特性等。

4) 仿真结果可信性 它是仿真系统的使用者拥有对仿真系统运行所产生的仿真结果能够服务于特定应用目的的信心。判断仿真结果可信性最有效的办法是用仿真系统运行结果和实际系统/参考系统运行结果进行比较和统计,得出仿真结果在多大程度上能够满足用户进行决策和分析的要求。作为仿真的产物,仿真结果是数据、模型和仿真运行的综合体现,数据可信性、模型可信性和仿真运行可信性都对仿真结果可信性产生影响。

1.2 V&V 过程模型

V&V 过程模型是指仿真系统生命周期的 V&V 活动内容或工作框架。它是一项贯穿于仿真系统全生命周期的重要活动,指导和影响着仿真系统的开发与运行工作。为形象地表示仿真可信性的影响因素、M&S 过程及 V&V 过程模型之间的关系,从仿真可信性的影响因素出发,建立 M&S 可信性影响因素、M&S 及 V&V 过程之间的关系如图 3 所示。

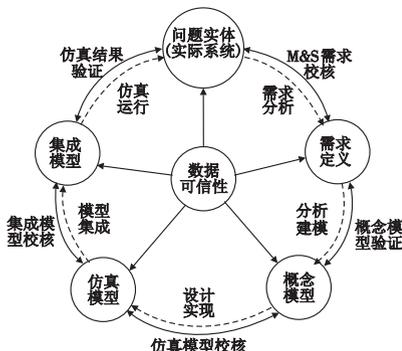


图3 可信性影响因素、M&S及V&V过程之间的关系

1.3 可信性特性

仿真系统可信性特性是指用于描述和评价仿真系统可信

性的一组属性,也可以理解为度量仿真系统可信性的一组度量指标,一个仿真系统可信性特性可被细化成多级子特性。通过分析影响仿真系统可信性的各方面因素,结合 V&V 过程模型,深入研究仿真系统可信性特性,综合分析可信性在 V&V 过程中不同阶段的评价标准,并参考相关文献和国际国内标准,提出了以下可信性特性,即正确性、适应性、功能性、有效性、可靠性、可用性。可信性特性及其定义^[3-8]如表 1 所示。

表 1 可信性特性及其定义

可信性特性	定义
正确性	与 VV&A 过程中校核阶段与其上一阶段之间的满足程度相关的一种属性
适应性	与仿真系统和仿真目的相适应的程度相关的一种属性
功能性	与系统所实现的功能达到它的设计规范和满足用户需求程度相关的一种属性
有效性	仿真模型的表示能力足够正确地适合于特定应用的质量特性,它是模型表示对现实世界相似性的相对度量
可靠性	与系统在规定条件下和规定的时间内完成规定功能的能力相关的一种属性
可用性	与降低仿真系统被误用的可能性相关的一种属性

图 4 给出了 M&S 过程、V&V 过程及与可信性特性之间的关系^[6]。V&V 过程与可信性特性之间关系的确立原则是适应性、功能性、有效性与验证活动相关;正确性与校核活动相关^[3];可靠性和可用性与仿真系统的运行相关。

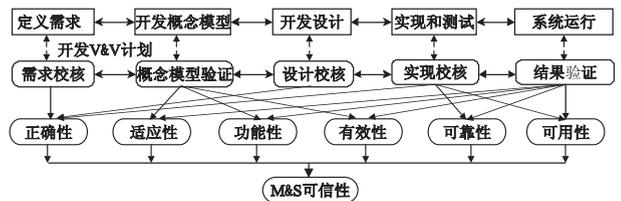


图4 M&S过程、V&V过程及与可信性特性之间的关系

2 M&S 可信性评估模型

为保证 M&S 可信性评估工作有效、成功地完成,以三维可信性信息空间为依据,以 V&V 过程模型为基本框架,深入分析可信性影响因素,将可信性特性与 V&V 过程模型进行有机结合,综合分析可信性在 V&V 过程中不同阶段的评价标准,建立可信性评估指标体系,这就是 M&S 可信性评估模型。

M&S 可信性评估模型是可信性评估的基础,建立 M&S 可信性评估模型对于全面、综合、深入地了解仿真系统的功能及性能,提高仿真系统的开发质量,加强仿真系统的质量管理工作,提高 M&S 的发起者和用户对应用仿真系统解决具体问题的信心等方面都有重要的意义^[4]。但目前缺乏一个有效、可行的评估模型,以支撑可信性评估。

可信性评估模型是三维可信性信息空间中可信性影响因素、V&V 过程和可信性特性以及对它们进行综合评价的客观体现。M&S 可信性评估研究的参考框架如图 5 所示。基于三维可信性信息空间理论,结合可信性影响因素,以 V&V 过程模型为基本框架,综合分析可信性在可信性评估过程中不同阶段的评价标准,进而建立全面、系统、科学的可信性评估模型,如图 6 所示。

3 模糊综合评判模型

模糊综合评判模型可分为一级模型和多极模型。根据前

面所建立的 M&S 可信性评估模型,有些因素之间是并列关系,有些因素之间具有不同的层次级别,因此,本文采用多级模糊综合评判模型进行分析^[9]。

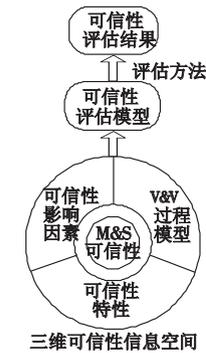


图5 M&S可信性评估研究的参考框架

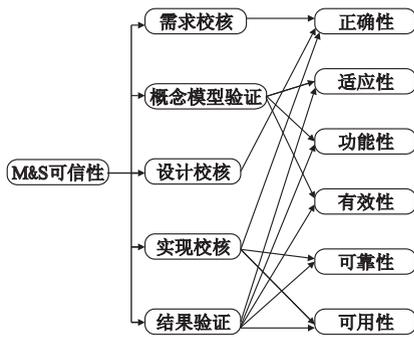


图6 M&S可信性评估模型

3.1 一级模糊综合评判模型

给定两个有限论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 和 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, U 代表所有的评判因素所组成的集合, V 代表所有的评语等级所组成的集合。进行单因素评价, 建立模糊关系矩阵 \tilde{R} :

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \ddots & \ddots & & \ddots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中: r_{ij} 为 U 中因素 u_i 对应 V 中等级 v_j 的隶属关系, 即从因素 u_i 着眼评价对象被评为 v_j 等级的隶属关系, 因而 r_{ij} 是第 i 个因素对评价对象的单因素评价, 它构成了模糊综合评判的基础。

如果评判因素权重分配为 $\underline{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ (显然, \underline{A} 论域 U 上的一个模糊子集, 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1, 0 \leq a_i \leq 1$), 则应用模糊变换的合成运算, 可得到评语集上的一个模糊子集, 即综合评判结果 $\underline{B} = \underline{A} \circ \tilde{R} = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ (若 $\sum_{j=1}^m b_j \neq 1$, 应将其归一化)。“ \circ ”代表合成算子。在实际应用中, 对于给定的评判对象, 可先用 Zadeh 算子 $M(\wedge, \vee)$ 和加权平均型算子 $M(\bullet, \oplus)$ 计算, 若得到的评判向量各元素值普遍偏小, 则可选用主因素突出型算子 $M(\wedge, \oplus)$; 反之, 则可选用 $M(\bullet, \vee)$ ^[10]。

3.2 多级模糊综合评判模型

可先对低层因素进行综合评判, 再对评判结果进行高层次综合评判^[9]。具体步骤如下:

a) 将因素集 U 分为几个子集, 即 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_p\}$ 。设第 i 个子集 $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik}\}, i = 1, 2, \dots, p$, 则 $\sum_{i=1}^p k = n$ 。

b) 对于每个 U_i 按一级模型分别进行综合评判。设因素权重分配为 \underline{A}_i, U_i 的模糊评价矩阵为 \tilde{R}_i , 则 $\underline{B}_i = \underline{A}_i \circ \tilde{R}_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}), i = 1, 2, \dots, p$ 。

c) 把 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_p\}$ 中 U_i 的综合评判 \underline{B}_i 看做是 U 中的 p 个单因素评价, 又设新的权重分配为 \underline{A} , 那么总的模糊评价矩阵为 $\tilde{R} = [\underline{B}_1 \ \underline{B}_2 \ \dots \ \underline{B}_p]^T = (b_{ij})_{p \times m}$ 。则经过模糊合成运算得到二级综合评判结果 $\underline{B}_* = \underline{A} \circ \tilde{R}$, 它既是 U_1, U_2, \dots, U_p 的综合评判结果, 也是 U 中所有因素的综合评判结果。第 a) ~ c) 步可根据具体情况多次循环, 直到得出满意的综合评

判结果为止。

4 实例分析

根据前面所建立的 M&S 可信性评估模型, 以某型驾驭式飞行视景仿真系统^[11] 的设计和开发为例, 进行 M&S 可信性模糊综合评判。

4.1 确定各因素权重

每个指标集的权重可采用 AHP 法求得, 采用 1 ~ 9 标度法对因素集中的元素进行两两比较, 得到判断矩阵后运用和积法进行归一化。下面给出各因素通过一致性检验得到的权重组:

$$A = [0.0931 \ 0.1067 \ 0.2007 \ 0.2192 \ 0.3803]$$

$$A_1 = 1, A_2 = [0.4 \ 0.2 \ 0.4], A_3 = 1$$

$$A_4 = [0.5278 \ 0.3325 \ 0.1396]$$

$$A_5 = [0.3192 \ 0.1840 \ 0.3192 \ 0.1093 \ 0.0683]$$

4.2 确定评判集

对系统可信性的评判可分为五个等级, 如表 2 所示。

表2 评判等级分配表

分数	85 ~ 100	70 ~ 85	55 ~ 70	40 ~ 55	0 ~ 40
评判等级	很可信	较可信	可信	不可信	很不可信

4.3 建立因素等级矩阵

采用专家打分法来确定单指标评判矩阵。令 $r_{ij} = x_{ij}/n$ (其中: n 为专家人数; x_{ij} 为因素 u_i 被评为 v_j 的次数), 得到评估矩阵如下:

$$R_1 = [0.44 \ 0.25 \ 0.20 \ 0.08 \ 0.04]$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.51 & 0.23 & 0.19 & 0.05 & 0.02 \\ 0.45 & 0.18 & 0.23 & 0.09 & 0.05 \\ 0.53 & 0.13 & 0.26 & 0.07 & 0.04 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = [0.48 \ 0.20 \ 0.21 \ 0.03 \ 0.08]$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.27 & 0.17 & 0.04 & 0.02 \\ 0.52 & 0.22 & 0.23 & 0.02 & 0.01 \\ 0.53 & 0.15 & 0.23 & 0.08 & 0.01 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.45 & 0.30 & 0.20 & 0.03 & 0.02 \\ 0.48 & 0.25 & 0.15 & 0.08 & 0.04 \\ 0.60 & 0.24 & 0.10 & 0.05 & 0.01 \\ 0.56 & 0.30 & 0.10 & 0.01 & 0.03 \\ 0.54 & 0.30 & 0.10 & 0.05 & 0.01 \end{bmatrix}$$

4.4 一级模糊综合评估

一级模糊综合评估是综合一个因素各个等级, 评估它们对评估对象的影响。根据专家评定, 采用 $M(\wedge, \vee)$ 算子进行模糊合成运算。 $M(\wedge, \vee)$ 算子中 \wedge 和 \vee 分别为取小 (min) 和取大 (max) 运算, 即

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \max[\min(a_1, r_{1j}), \min(a_2, r_{2j}), \dots, \min(a_n, r_{nj})]$$

合成运算后可得一级模糊评价 \underline{B}_i 如下:

$$B_1 = [0.44 \ 0.24 \ 0.20 \ 0.08 \ 0.04]$$

$$B_2 = [0.40 \ 0.23 \ 0.26 \ 0.09 \ 0.05]$$

$$B_3 = [0.48 \ 0.20 \ 0.21 \ 0.03 \ 0.08]$$

$$B_4 = [0.50 \ 0.27 \ 0.23 \ 0.08 \ 0.02]$$

$$B_5 = [0.3192 \ 0.30 \ 0.20 \ 0.08 \ 0.04]$$

归一化处理建立总评价矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} 0.44 & 0.24 & 0.20 & 0.08 & 0.04 \\ 0.3883 & 0.2233 & 0.2524 & 0.0874 & 0.0485 \\ 0.48 & 0.20 & 0.21 & 0.03 & 0.08 \\ 0.4545 & 0.2455 & 0.2091 & 0.0727 & 0.0182 \\ 0.3399 & 0.3194 & 0.2129 & 0.0852 & 0.0426 \end{bmatrix}$$

4.5 二级模糊综合评估

一级模糊综合评估反映单因素不同等级对评估因素的影响。由于涉及的因素较多,为了寻求诸多因素对评估结果的总体影响,必须进行二级模糊综合评估。

二级模糊评估

$$C = A \times B = [0.0931 \quad 0.1067 \quad 0.2007 \quad 0.2192 \quad 0.3803] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.44 & 0.24 & 0.20 & 0.08 & 0.04 \\ 0.3883 & 0.2233 & 0.2524 & 0.0874 & 0.0485 \\ 0.48 & 0.20 & 0.21 & 0.03 & 0.08 \\ 0.4545 & 0.2455 & 0.2091 & 0.0727 & 0.0182 \\ 0.3399 & 0.3194 & 0.2129 & 0.0852 & 0.0426 \end{bmatrix} =$$

$$[0.3399 \quad 0.3194 \quad 0.2129 \quad 0.0874 \quad 0.0800]$$

归一化处理结果:

$$C = [0.3270 \quad 0.3072 \quad 0.2048 \quad 0.0841 \quad 0.0770]$$

4.6 模糊综合评估结果

上述表明对系统可信性按五个等级进行评估时所得的结果分布。根据表 2,可求得系统可信性为

$$f = 100 \times 0.3270 + 85 \times 0.3072 +$$

$$70 \times 0.2048 + 55 \times 0.0841 + 40 \times 0.0770 = 80.8535$$

根据 f 分值判定系统可信性评估级别为较可信。

5 结束语

本文从系统工程的角度出发,综合分析影响 M&S 可信性的相关因素,提出了三维可信性信息空间理论,建立了 M&S 可信性评估模型。在分析了模糊综合评判模型的基础上,以某型仿真系统的设计和开发为例进行 M&S 可信性模糊综合评判。该模型的建立综合反映了建模与仿真的全过程对可信性的影

响,利用模糊综合评判的方法,克服了传统可信性评估中人的主观判断、选择、偏好对结果影响很大的缺点,有利于解决和提高现有的 M&S 可信性评估水平,实现了 M&S 可信性评估的科学性、客观性和合理性。

参考文献:

- [1] 吴晓燕,许素红,刘兴堂,等. 现代军用仿真系统的新特点及技术对策[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2002,3(6):29-32.
- [2] TAN Ya-xin, WANG Jing-ye, ZHANG Wei. Discussion on credibility theory of simulation application [C]//Proc of the 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing. Beijing: IEEE Press,2008:445-451.
- [3] BRADE D. A generalized process for the verification and validation of models and simulation results [D]. München: University Der Bundeswehr, 2003.
- [4] 张冰. 分布交互仿真系统评估技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学,2001.
- [5] DMSO. Department of defense verification, validation and accreditation (VV&A) recommended practices guide [R]. Alexandria, VA: Defense Modeling and Simulation Office, 1996.
- [6] LIU Fei, YANG Ming, WANG Zi-cai. Study on simulation credibility metrics [C]//Proc of Winter Simulation Conference. Orlando, FL: IEEE Press, 2005:2554-2560.
- [7] 国家技术监督局. GB/T 16260-1996, 信息技术软件产品评价质量特性及其使用指南[S]. 1992.
- [8] BALCI O, ORMSBY W F, CARR J T, et al. Planning for verification, validation, and accreditation of modeling and simulation applications [C]//Proc of Winter Simulation Conference. Orlando, FL: IEEE Press, 2000:829-839.
- [9] 郭铜修,刘鲁,杨思峰. 企业生产作业系统模糊评价模型分析应用研究[J]. 系统工程与电子技术,2008,30(12):2412-2417.
- [10] 张伟,王行仁. 仿真可信度模糊评判[J]. 系统仿真学报,2001,13(4):473-476.
- [11] WU Jing, WU Xiao-yan, ZHOU Yan-yan. Research on design and realization of steering flight visual simulation system [C]//Proc of the 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing. Beijing: IEEE Press, 2008:1567-1570.

(上接第 4505 页)

改进的多关系决策树取得了一定的成果,但关系数据挖掘设计的领域较多,笔者认为还有以下问题值得继续探讨和深入研究:

a) 效率和可扩展性研究。与传统的数据挖掘算法相比,关系数据挖掘算法的时间复杂度增大,效率和可扩展性还有进一步优化的空间。

b) 空间复杂度的研究。由于背景属性会占用内存空间,对减小算法运行的空间有待于进一步研究。

c) 多关系数据挖掘算法与数据库系统和数据仓库系统的无缝连接。这方面的研究将有助于提高数据预处理与模式评估的效率,同时也有利于多关系数据挖掘算法的应用。

总之,关系数据挖掘是一项非常有意义的工作,其任务也非常艰巨,有待于进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 郭宇红,童云海,唐世渭,等. 数据库中的知识隐藏[J]. 软件学报,2007,11(18):2782-2797.
- [2] 张伟,杨炳儒,宋威. 多关系数据挖掘研究综述[J]. 计算机工程与应用,2006,42(2):1-6.

- [3] HAN Jia-wei, KAMBER M. 数据挖掘:概念与技术[M]. 范明,孟小峰,等译. 北京:机械工业出版社,2001.
- [4] ATRAMENTOV A. A multi-relational decision tree learning algorithm-implementation and experiments [D]. Iowa State: Iowa State University, 2003.
- [5] LEIVA H A. MRDTL: a multi-relational decision tree learning algorithm [D]. Iowa State: Iowa State University, 2002.
- [6] YIN Xiao-xin, HAN Jia-wei, YANG Jiong, et al. CrossMine: efficient classification across multiple database relations [C]//Proc of International Conference on Data Engineering. Berlin: Springer, 2004: 399-410.
- [7] 霍崢. 基于背景知识的关系数据分类算法的研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2007.
- [8] 霍崢,郭景峰,王俊英. 一种用户指导的关系数据分类算法[J]. 电子学与计算机,2006,23(9):141-143.
- [9] YIN Xiao-xin, HAN Jia-wei, YU P S. Cross-relational clustering with user's guidance [C]//Proc of the 11th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery in Data Mining. Chicago Illinois: Association for Computing Machinery, 2005:344-353.
- [10] ATRAMENTOV A, LEIVA H, HONAVAR V. A multi-relational decision tree learning algorithm-implementation and experiments [C]//Proc of the 13th International Conference on Inductive Logic Programming. Berlin: Springer-Verlag, 2003:28-38.