

doi: 10.7690/bgzd.2013.05.009

基于 CBR+RBR 的快速应急预案生成方法

李洋^{1,2}, 李星^{1,2}, 吴秋云¹, 陈莹¹

(1. 国防科学技术大学电子科学与工程学院, 长沙 410073; 2. 中国人民解放军 63880 部队, 河南 洛阳 471003)

摘要: 针对现存应急预案大都是文本形式预案, 用于处理突发事件时指导性不强、指导作用不明显, 提出基于案例推理 (case based reasoning, CBR) 与基于规则推理 (rule based reasoning, RBR) 相结合的方法。采用 RBR 方法, 推理得出需要的应急预案, 运用 CBR 方法, 使用最近邻匹配方法从案例库中查找符合给定相似度的案例, 并将 2 种方法相结合。结果表明: 该方法能克服单独使用 CBR 时面临的无规则预案生成陷入困境及单独使用 RBR 时预案生成延时及规则建立难度大的瓶颈, 兼容 RBR 极强的推理演绎能力和 CBR 建立与维护系统容易的优势, 使生成应急预案更加高效可靠。

关键词: 应急预案; 基于案例推理; 基于规则推理; K 近邻匹配

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Emergency Plan Generating Method Based on CBR and RBR

Li Yang^{1,2}, Li Xing^{1,2}, Wu Qiuyun¹, Chen Luo¹

(1. School of Electronic Science & Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. No. 63880 Unit of PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: The current emergency plan is text plan mainly. It can not efficiently guide and deal with accident. Put forwards combined method of case based reasoning (CBR) and rule based reasoning (RBR). Use RBR method to calculate required emergency plan. Use CBR method and nearest neighborhood matching method to find the case which matching the given comparability in case base. Then, combine two methods. The results show that the method can overcome the disadvantages of no emergency plan can be generated if there is no one case matching the target problem in the case base with the single CBR method or time delay of emergency plan generating with the single RBR method. What's more, the system has the advantages of logical deduction of RBR and advantage of easy establishing and maintaining the emergency plan of CBR, which making the system more efficient and reliable.

Key words: emergency plan; case based reasoning; rule based reasoning; K-nearest neighborhood matching

0 引言

生活在复杂社会环境中, 不可避免地要面临各种各样的天灾人祸, 通常包括自然灾害、事故灾难、公共卫生事件以及社会安全事件^[1]。这些不可预料的事件通常会造成重大的人员伤亡和财产损失。近年来的数据报告显示, 突发公共事件呈现以下特点: 发生频率越来越高、造成的损失越来越大、产生样式越来越多。2004 年 12 月的印度洋地震海啸造成近 30 万人遇难; 2005 年 9 月“卡特里娜”飓风造成 1 300 多人死亡、数千人流离失所; 2008 年 5 月发生在我国的汶川特大地震造成近 7 万人罹难、近 40 万人受伤; 2010 年的海地大地震造成十几万人死亡; 2011 年 3 月的日本 9.0 级大地震, 在之后的 11 天内至少发生 168 次里氏 5 级以上的余震; 仅 2012 年 7 月份, 各类自然灾害共造成我国 6 180.1 万人次受灾, 402 人死亡, 91 人失踪^[2]。在人员伤亡的同时, 灾害所造成的经济、财产损失更是难以用数

据衡量。

突发事件的处理在自然科学领域与科技领域成为广受关注的世界性课题^[3]。面对突发灾害时, 合理有效的应急预案便成为减少人员伤亡、财产损失的最有效途径。应急预案是指针对突发公共事件, 为保证迅速、高效开展应急救援行动、降低事故损失而事先制定的计划和方案, 是应急处置的重要依据^[1]。应急预案是应对突发事件的纲领性文件和指导性依据。现存的应急预案大都是文本形式的预案, 这在实际用于处理突发事件时指导性不强、指导作用不明显。笔者提出将基于案例推理 (case based reasoning, CBR) 与基于规则推理 (rule based reasoning, RBR) 技术相结合, 用于应急预案生成, 给定相似度阈值, 利用“K 近邻匹配算法”查找满足条件的案例作为参考, 继而生成所需应急预案, 所生成的预案具有快速、准确、指导性强以及成本低的特点。

收稿日期: 2012-11-21; 修回日期: 2012-12-05

作者简介: 李洋(1986—), 男, 甘肃人, 硕士, 助理工程师, 从事摄影测量与遥感、地理信息系统研究。

1 基于规则推理的方法

1.1 RBR 原理

RBR 实际上是一个专家系统。专家系统是决策支持系统的一个重要分支，它是一种基于启发式思维并结合判断、直觉和专业知识的，对实际问题提供建议的交互式计算机智能程序^[4]。RBR 主要由数据库(data base)、知识库(knowledge base)和推理机(inference engine)构成。其中，数据库模块主要用来存放事实，初始数据以及推理过程所产生的中间数据也存放在该模块中；知识库模块主要用来存放来自领域专家的专业性知识，主要包括事实(facts)和规则(rules)；推理机模块主要用来对推理方式进行控制，具体方式为在满足 If 条件时执行其对应的 Then 动作。RBR 原理如图 1 所示。

RBR 通常用来解决复杂的现实问题，如规划、调度和设计等^[5]。RBR 解决问题的领域往往具有知

识准确、规则简单的特点；若规则太复杂，投入的成本将会很大，而且可靠性也不高。RBR 解决问题的主要优点表现为迅速、高效、准确和周密^[6]。

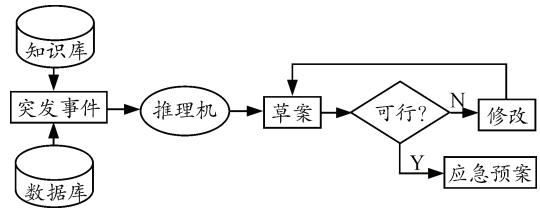


图 1 RBR 原理

1.2 应急预案中的 RBR 应用

以城市火灾发生为例，应急预案的提出涉及到复杂的调度问题，由于涉及复杂规则推理问题，可以用 RBR 方法来解决。城市火灾发生后，火灾的性质决定了消防车辆的类型；火灾的等级决定了消防车辆的数量。如表 1^[6]所示为在某等级某性质的火灾发生时出动的消防车辆类型及数量。

表 1 火灾发生时消防车辆出动标准

火灾性质	一级	二级	三级	四级	五级
高层建筑火灾	2SG	5SG, 1QX, 1YT	7SG, 1QX, 1YT	13SG, 2QX, 3YT	15SG, 3QX, 3YT
普通建筑火灾	1SG	4SG, 1QX	7SG, 1QX	16SG, 2QX	18SG, 3QX
一般气体火灾	2SG	6SG, 1QX	8SG, 1QX	13SG, 2QX	18SG, 3QX
有毒气体火灾	2FH	4FH, 1QX	6FH, 1QX	10FH, 2QX	16FH, 3QX
油类火灾	1SG, 1PM	3SG, 2PM, 1QX	4SG, 3PM, 1QX	7SG, 6PM, 2QX	8SG, 8PM, 3QX
地下空间火灾	2SG	3SG, 2PM, 1ZM, 1QX	4SG, 3PM, 2ZM, 1QX	7SG, 3PM, 2ZM, 2QX	12SG, 3PM, 2ZM, 2QX

其中：SG 为水罐消防车；PM 为泡沫消防车；YT 为云梯消防车；FH 为防化消防车；GF 为干粉消防车；QX 为抢险消防车；ZM 为照明车。

规则库中相应的规则为：

IF:level= “三级” AND character= “油类火灾”

THEN: fire engine: “水罐消防车(4 辆)，泡沫消防车(3 辆)，抢险消防车(1 辆)”

1.3 RBR 的应用缺陷

由上述分析可以看出，RBR 主要运用于规则清晰简单容易得到的情况，因为规则的制定是一个复杂的过程，且在经过专家提出后仍需要在实践中验证其可靠性。故 RBR 的应用“门槛”较高，因其运用需要有一套完善的推理机制，而规则的建立本身就是一个复杂的过程，实现成本较高；同时，在应用 RBR 进行推理时，一切必须“从头开始”，这必然使所需时间增多；而且，由于 RBR 内部规则库较大，系统的建立和维护也将变得异常复杂。

2 基于案例推理的方法

2.1 CBR 原理

人们在碰到一个问题时，最常用的方法是在脑

海中搜索以往是否发生过与本次问题类似问题的解决办法，若能找到相似问题的解决办法，则借鉴成功的经验来解决新问题。CBR 正是基于这样一种思想，其处理问题的方法与人类思维方式相近，将以往问题的成功解决经验存入案例库，新问题提出时从案例库中查找是否存在类似问题的解决方法，相同的予以借鉴、不同的予以调整，从而完成快速处理本次新问题^[7]。CBR 技术被广泛运用于发票的结构提取^[8]、分子生物学^[9]、疾病诊断^[10]以及图像处理^[11]等领域。

CBR 方法主要通过案例库中查找与要解决的问题相似度较高的案例，并选取其中最合适的予以借鉴，将其运用于新问题的解决^[12]。从其定义可以看出，CBR 解决问题的本质在于重用，而重用所依据案例库中的哪个案例则是通过相似度计算来得到的。总而言之，CBR 解决问题可以分为以下 4 步：

- 1) 查询(Retrieve)：在案例库中查找与目标问题相似的案例；
- 2) 重用(Reuse)：以所找到的案例为参考，用于目标问题的解决；
- 3) 修改(Revise)：从案例库中找到符合给定相

似度的案例, 这样的结果可能不止一条, 选择最合适的案例进行修改并运用于本次问题的解决; 若未找到满足当前设定相似度的案例, 则适当降低相似度阈值继续查找; 若案例库中不存在最大容忍度下的相似案例, 则 CBR 方法结束;

4) 保存(Retain): 新问题成功解决后, 若案例库中不存在类似问题的解决方法, 则将本次问题的解决方法加入案例库保存以丰富案例知识, 使下次碰到类似问题时有据可查。此即为通常所说的 CBR 解决问题中的“4-R”理论^[13], 实现原理如图 2。

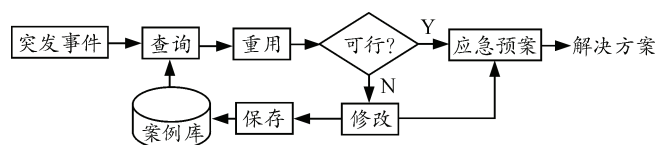


图 2 CBR 原理

2.2 应急预案中的 CBR 应用

突发公共事件的偶然性、不确定性以及潜在的高危害性^[14], 要求应急预案及时、准确、有效。前文已指出, RBR 在处理突发事件时, 主要依赖其较完善的推理机制, 而推理规则的建立是一个复杂而又需要不断完善的过程, 这是一个长期的过程。所以, 当需处理的问题规则复杂, 或者建立完善的推理机制难以实现时, 就可以考虑人解决问题时最基本的方法: 借助以往处理相似事件的成功经验来指导当次问题的解决。

CBR 得到了越来越广泛的应用。Peitao Cheng 等^[7]提出了基于 CBR 的平面几何智能学习系统, 对于提高学生的学习和总结能力非常有帮助。该系统将 CBR 与 RBR 相结合, 提高了系统解决问题的效率以及准确性。在具体的应用中, 当某个学生将他的问题提交后, 系统就会在案例库中查找与该问题类似的案例, 若找到相似问题, 则将其解决方案提交给该学生; 否则通过 RBR 进行规则推理得出解决方案; 若问题仍未解决, 则将其上交给专家解决。Niloofer Arshad 等^[9]提出将 CBR 技术运用于分子生物学领域, 这是由相关领域知识获取困难、存在规则定义困难且复杂度高的技术障碍, 故通过使用 RBR 技术来解决这类问题实现难度大、实现成本高。Niloofer Arshad 等设计实现了用于案例推理的专家集 (mixture of experts for case-based reasoning, MOE4CBR), 该方法将 CBR 分类器与 (光) 谱线以及衰退曲线相结合, 从而得到非常有意义的分子分类标签。该过程包括了合并、特征提取、专家复合和将输入数据分类等方法。该方法在生物科学领域

得到了广泛的应用, 如从基因中提取数据集、蛋白质结构描述等等。

2.3 CBR 的应用缺陷

2.2 节中提到的平面几何智能学习系统, 其优点在于表达自然清晰、知识获取容易、描述特定知识容易。因为 CBR 是以人类的思维模式为基础, 在碰到新问题时优先考虑以前是否发生过类似的问题, 该问题是否得到解决, 如果有这样符合条件的案例, 则采用“拿来主义”将该问题的解决方案作为参考来指导新问题的解决, 容易被理解和接受。但是该系统也存在应用上的不足, 主要表现在: 随着时间的增长、解决问题的增多, 知识的复杂性使案例库越来越庞大, 案例的存取就成为问题; 同时, 查询和检索的时间随案例库的增长而增长, 单纯采用 CBR 技术往往效率不高。这也是采用 CBR 方法时的主要缺陷。

3 基于 CBR+RBR 的方法

前文分析表明: 单纯依靠 RBR 或 CBR 方法来处理突发事件都存在一些不足, 于是考虑将 CBR 与 RBR 相结合, 优势互补、取长补短, 使生成的应急预案能兼容 CBR 的简单方便易实现与 RBR 规则推理快速高效的优点, 同时也克服了 CBR 检索查询慢以及 RBR 的推理机制复杂的缺点。在有章可循、有案例可参考时用 CBR 更方便; 在案例库中不存在可参考的案例或案例参考性较差时考虑用 RBR 的推理机制生成的应急预案更可靠。

3.1 研究现状

为了克服 CBR 与 RBR 各自的缺陷, 越来越多的人考虑将二者相结合, 利用各自的优点, 发挥更大的作用。Nick Crone 等^[15]将 CBR 与 RBR 相结合, 并应用在机器学习领域, 提出了 ELEM2-CBR 系统, 实现了通过应用权重和案例排名来完成分类和数值预测的功能。曲明等^[12]通过将 RBR 与 CBR 结合, 改进了传统的产生式系统, 建立了实时专家系统模型, 提出了对应的系统 RTESCR。罗杰文等^[16]提出将 CBR 与 RBR 相结合, 实现一种快速预案生成系统, 提出的 CbrSys 系统被应用到抗洪抢险的预案生成和城市应急联动的决策支持上。

尽管上述文献所提出的系统都将 CBR 与 RBR 相结合, 克服单独使用二者时存在的缺陷, 使得系统的性能得到了提高, 但它们大都是以 RBR 为基础, 新问题提出后优先采用 RBR 技术进行解决, 这

是由他们各自解决问题的背景所决定的，因为这些领域有比较完善的规则推理机制。但是在突发事件发生后，没有相应的规则可以进行案例推理，更多的是通过使用经验常识，将以往成功的案例解决方法运用于本次新问题的解决，故在应急预案生成时考虑优先使用 CBR，在问题没有得到解决或者提供的解决方案不理想时再考虑用 RBR 技术实现。

3.2 K 近邻匹配算法

笔者提出采用将 CBR 与 RBR 相结合的方法来生成应急预案，在该方法的 CBR 部分采用“K 近邻匹配算法”从案例库中查找满足给定相似度阈值条件下的案例。首先提取目标问题的关键属性，并把这些属性量化，依据公式计算目标问题与案例库中案例在某一属性上的局部相似度，然后把各属性的局部相似度与其对应的权重系数加权求和得到整体相似度，再将整体相似度与最初设定的阈值进行判定，从案例库中选取相似度最高的案例以供参考。

$$x_i = \text{Sim}(T_i, C_{k,i}) = 1 - \left| \frac{T_i - C_{k,i}}{\max(i) - \min(i)} \right| \quad (1)$$

其中： x_i 为目标问题 T 与第 k 个案例 C_k 在第 i 个属性上的局部相似性； T_i 为 T 的第 i 个属性； $C_{k,i}$ 为 C_k 的第 k 个属性； $\max(i)$ 与 $\min(i)$ 分别表示第 i 个属性上的最大值和最小值。

$$x = \sum_{i=1}^n w_i x_i = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

x 则表示整体相似性。设定判断阈值 ε 之后进行 K 近邻匹配算法，如下所示：

- 1) 初始化 $\varepsilon=0$ ，并且计算目标案例与案例库 (master case base, MCB) 中各案例的整体相似性，得到满足 $x \leq \varepsilon$ 条件的案例数 $nCase$ ，若 $nCase=0$ ，到第 2 步；否则，到第 3 步。
- 2) 将查找到的结果案例输出，已找到满足要求的案例，结束 K 近邻算法。
- 3) 设 $\varepsilon=10$ ，在案例库中用 K 近邻算法查找合适的案例，若 $nCase=0$ ，说明没有和目标问题相似的案例，转到 RBR 方法求解。若 $nCase \leq 5$ ，到第 2 步；否则，到第 4 步。
- 4) 减小阈值 ε ，使 $\varepsilon=50\% \varepsilon$ ，继而在案例库中查找，若 $nCase=0$ ，到第 5 步；否则若 $nCase \leq 5$ ，到第 2 步；否则继续执行第 4 步。
- 5) 增加阈值 ε (之前在每一步找到满足条件的案例时，即 $nCase \leq 5$ 时记录此时阈值 $\varepsilon_i = \varepsilon$)，使 $\varepsilon = (\varepsilon + (\varepsilon + \varepsilon_i) / 2)$ ，然后继续在案例库中查找合适的案

例，若 $nCase \neq 0$ ，到第 5 步；否则若 $nCase \leq 5$ ，到第 2 步；否则到第 4 步。

3.3 CBR+RBR 实现

CBR+RBR 的实现如图 3 所示，当有突发事件发生时，首先采用 CBR 方法，在案例库中查找是否有类似的案例曾经处理过，若找到相似的案例，且在该种阈值情况下查找到的案例个数也满足系统的要求，则将所找到案例的处理方法输出，为本次制定应急预案提供参考。否则，若在最大容忍度 (即阈值最高) 的情况下仍未找到合适的参考案例，则将初始条件输入 RBR 系统并运用规则推理得到所需的应急预案。

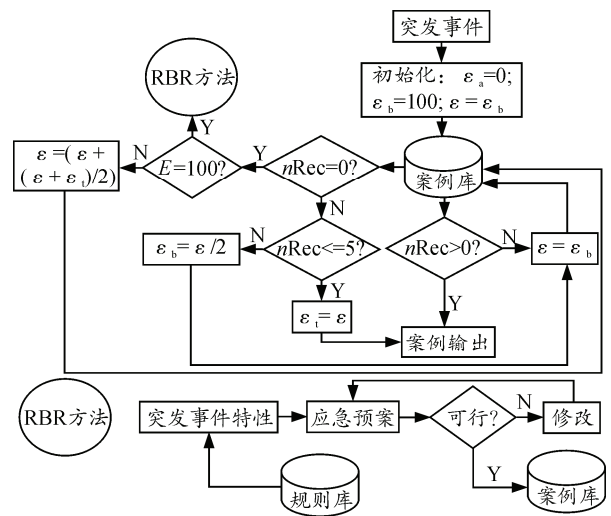


图 3 基于 CARBR 的应急预案生成系统原理

4 结束语

笔者将 CBR 与 RBR 技术相结合，兼容了 CBR 的简单方便易实现与 RBR 的快速高效的优点，同时也克服了 CBR 检索查询慢以及 RBR 的推理机制复杂的缺点，该方法可应用于突发事件发生后应急预案的生成，使生成的应急预案及时、准确、有效，在处理突发事件时，理论上能有效地减小人员伤亡和财产损失。

参考文献:

- [1] 朱锋, 朱香卫, 黄卫东. 基于 XML 和 Ajax 的应急预案管理[J]. 应急救援, 2010, 9(3): 28-31.
- [2] 贾天勇. 中国 7 月各类自然灾害造成直接经济损失 855 亿多元 [EB/OL]. <http://www.chinanews.com/gn/2012/08-09/4097047.shtml>, 2012-08-09.
- [3] Zhang Baojun, Wu Jiannan, Fan Yida. The study of natural distracters emergency relief plans deduction conceptual model[C]. Hawaii: 2012 8th International on Natural Computation (ICNC 2012). 2012: 883-887.

- [4] Joseph C. Giarratano, Gary D. Riley. 专家系统原理与编程[M]. 印鉴, 陈忆群, 刘星成, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006: 45-48.
- [5] 张建华, 刘仲英. 案例推理和规则推理结合的紧急预案信息系统[J]. 同济大学学报, 2002, 30(7): 890-894.
- [6] 付举磊. 基于 GIS 的城市消防辅助决策系统的设计与实现[D]. 长沙: 国防科学技术大学硕士学位论文, 2010: 19-24.
- [7] Mythili Thirugnanam, Bivash Kumar, Awanish Kumar Gupta. Improved Case Based Reasoning(ICBR) Tool[J]. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2012, 2(4): 236-241.
- [8] Hatem Hamza, Yolande Belaid, Abdel Belaid. A case-based reasoning approach for invoice structure extraction[J]. Document Analysis and Recognition, 2007, 9(23): 327-331.
- [9] Niloofar Arshadi, Igor Jurisica. Data Mining for Case Based Reasoning in High-Dimensional Biological Domains[J]. IEEE transactions on knowledge and data engineering, 2005, 8(17): 8.
- [10] Nguyen Hoang Phuong, Dang Huu Hung, Nadipuram R. Prasad. Development of an Expert System for Lung diseases using fuzzy logic[J]. Journal of Biomedical Soft Computing and human Sciences (BMFSA), 2001, 6(5): 2.
- [11] Valerie Ficet-Cauchar, Christine Porquet, Marinnete Revenu. An interactive Case Based reasoning system for the development image processing application[J]. Journal of Springer Verlag Berlin heidelberg, 1998, 14(8): 437-447.
- [12] 曲明, 郝红卫. CBR 与 RBR 结合的实时专家系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2004, 30(18): 144-156.
- [13] Shi Haobin, Dong Wenjie, Yang Linqun, et al. Automatic Reasoning Technology Based on Secondary CBR[J]. Advances in Automation and Robotics, 2011, 2(1): 1-8.
- [14] 沈宇. 基于 Ontology 的应急系统智能检索研究[D]. 南京: 南京邮电大学硕士学位论文, 2008: 1.
- [15] Nick Crone, Aijun An, Christine Chan. Rule-induction and case-based reasoning: Hybrid architectures appear advantageous[J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 1999, 11(1): 166-174.
- [16] 罗杰文, 施智平, 何清, 等. 一种 CBR 和 RBR 相结合的快速应急预案生成系统[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(4): 660-666.

(上接第 30 页)

对于 WEB-RTI 来说, 一方面作为普通的作战仿真成员加入已有的 HLA 联邦, 另一方面通过 Web 服务代理成员的桥接机制, 现有的 HLA 作战仿真模型可以很好地融入整个系统中。遵循 Web 使能 RTI 定义的基于 XML 的信息传输格式, 是一种可理解的数据格式, 具有很强的扩展性, 因此其他作战仿真模型通过 Web 服务代理也可以有效的融入系统中运行。

2.2.3 模型调度

基于 XMSF 的作战仿真集成系统的模型调度如图 3 所示。基于 Web 的 HLA 作战仿真系统运行, 第 1 步, 通过 WEB-API 解析 XML 想定, 确定并匹配参与作战仿真的相关作战仿真模型, 搜索、发布和注册相关作战仿真模型类服务; 第 2 步, 初始化本地环境类、实体类、行为类模型为本地作战仿真成员, 并根据任务规划创建 FED 文件; 第 3 步, 通过读取 FED 文件, 向服务中心注册目录申请相应效能评估模型, 创建相应代理, 并初始化异地效能评估仿真成员; 第 4 步, 创建联邦执行, 注册所有仿

真成员对象实例, 请求时间推进; 第 5 步, 将仿真控制权交本地 RTI 进行仿真推进; 第 6 步, 仿真结束, 退出、注销大联邦执行。

3 结束语

笔者对基于 XMSF 框架的作战仿真模型集成设计研究, 是对仿真系统集成的一次初步探索, 其具体实现还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 龚建兴, 黄建, 郝建国, 等. 基于 HLA 的异构仿真系统的快速集成方法综述[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(20): 6504-6509.
- [2] 曹裕华, 冯书兴, 管清波, 等. 航天器军事应用建模与仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [3] 王栋, 柏彦奇, 葛涛, 等. 面向装备保障仿真的机动行为模型[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(7): 38.
- [4] 黄文清. 作战仿真实理论与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [5] 曹裕华, 刘淑丽. 空间作战实验中的模型集成方式[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005.
- [6] Dr. Katherine L. Morse, Dr. Andreas Tolk, Dr. J. Mark Pullen, et al. XMSF As an Enabler for NATOM&S[C]// RTO NMSG Symposium. RTO-MP-MSG-028, 2004.