

文章编号: 1001 - 2486(2011)02 - 0113 - 06

面向重用的 BOM 概念模型相似度评估研究*

彭 勇, 龚建兴, 黄柯棣

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:针对 BOM 概念模型重用的问题,提出了概念模型相似度用于描述两个概念模型之间的相似程度。并提出相似度评估算法用于计算概念模型之间的相似程度。根据概念模型的定义,将相似度的计算归结为名字相似度计算和最优匹配计算两个基本过程。研究了算法中接口权重参数和行为权重参数的不同组合对算法查准率和查全率的影响。通过对 JC3IEDM 数据模型的测试,表明相似度能够正确反映概念模型的组成元素和结构的相似程度,算法可以正确计算出概念模型之间的相似程度。算法在保证 100% 查全率的基础上,查准率大于 75%。

关键词:系统仿真;模型重用;相似度评估;基本对象模型;概念模型

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A

Research on Reuse-oriented Similarity Evaluation of BOM Conceptual Model

PENG Yong, GONG Jian-xing, HUANG Ke-di

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Base Object Model (BOM) is a modeling standard for facilitating model composition and reuse. For the problem of conceptual model reuse, similarity between two conceptual models was presented to describe their similar degree. A similarity evaluation algorithm for computing the similarity between two conceptual models was also presented. According to the definition of conceptual model, similarity evaluation of algorithm was induced into two basis processes: name similarity computing and optimization matching computing. How different combinations of interface weighted parameter and behavior weighted parameter of the algorithm to affect the precision and recall was also studied. JC3IEDM was applied as benchmark to evaluate the algorithm. The result reveals that the similar degree of elements and structure between two conceptual models can be represented by their similarity collect. Similarity between two models can be computed by the algorithm. When the recall of algorithm is 100%, the precision is greater than 75%.

Key words: system simulation; model reuse; similarity evaluation; BOM(base object model); conceptual model

模型的组合、重用和互操作是建模仿真领域长期面临的挑战。随着仿真技术在军事领域应用的不断加深,联合作战仿真包含各种类型、不同领域的模型,如何建立有效的模型体系结构对模型进行分类和管理,以支持模型的重用、组合和互操作,是一个值得深入研究的问题。要促进模型的重用,必须在如下几个相关方面的工作取得进步:(1)知道什么信息对模型重用来说是必需的以及这些信息如何表示;(2)研究这些信息的收集和记录机制;(3)理解面向重用的设计;(4)开发能够分析和搜索模型的工具,以便根据需求查找已有的模型;(5)研究判断什么情况适合模型重用的标准^[1]。

BOM 是由国际互操作标准组织(SISO)开发并维护的一个标准,它的目标是提高 HLA 仿真系统的组合性和互操作性。BOM 提供了一种促进分布仿真系统互操作性、重用性和组合性的重要机制。BOM 的本质思想是基于这样的假设:模型、仿真系统、联邦的各个“零件”能够作为建模的模块或组件被抽取出来并重用,这些“零件”以可重用的模式刻画了仿真系统或联邦内各元素的相互作用^[2-3]。仿真系统和联邦之间的相互关系可以通过这些可重用的模式来描述^[3]。在联邦开发与执行过程规范中指出 BOM 可以作为快速构建和修改联邦成员和联邦的可重用对象模型组件。

虽然 BOM 提供了一种重用“组件”的建模指

* 收稿日期:2010 - 10 - 12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61074108);国家部委基金资助项目(513040102)

作者简介:彭勇(1981—),男,博士生。

导思想,但如果没有评估 BOM 是否可重用的方法和工具,这种建模思想还是不能为建模仿真带来便利。本文借鉴软件模型重用领域^[4]和信息查找领域^[5-6]已有的成果,将软件重用技术和 BOM 概念模型相结合,提出了 BOM 概念模型相似度的概念。通过概念模型之间的相似度指标来评估模型的相似程度,为模型的重用提供参考依据。研究了计算概念模型相似度的算法并给出了算法的软件实现。将概念模型划分为接口描述和行为描述,研究了算法接口相似度权重参数和行为相似度权重参数的不同取值对算法查准率和查全率的影响。

1 BOM 概念模型及其相似度计算过程

BOM 是概念模型、仿真对象模型或联邦对象模型的描述规范,为构建仿真系统的模型提供开发标准。BOM 规范包含了创建概念模型和指定仿真模型接口的必要元素。概念模型由交互模式、状态机、实体和事件四个部分组成。交互模式描述不同实体之间的相互作用过程,这是模型应用的上下文;状态机表示模型拥有的不同状态以及这些状态的转换条件,这是模型自身的内部行为描述;实体类型是现实世界中实体、现象的抽象,是模型暴露的状态接口;事件类型描述模型之间传递的消息,是模型暴露的消息接口。BOM 规范的详细介绍请参考文献[2]。概念模型相似度的提出是受到软件工程中组件重用的启发。软件工程中通过刻画描述组件的不同属性,然后根据刻画值的相似程度来判断组件能否重用。概念模型相似度是描述概念模型的构成元素及其结构相似程度的一个指标。BOM 概念模型由四个部分组成,我们可以通过四个部分的相似程度得到两个概念模型的相似程度。

我们以实体的相似度计算过程为例,给出概念模型的相似度计算过程。在概念模型中,实体由实体的名字和属性组成。实体可以有多个属性。属性只由名称描述,没有数据类型。

(1) $Entity = \langle Name, \{Attrs\} \rangle$, $Entity$ 表示概念实体, $Name$ 表示实体名称, $\{Attrs\}$ 表示实体的属性集合。

(2) $Entity.Attr_i = \langle Name \rangle$, $Entity.Attr_i$ 表示实体的第 i 个属性, $Name$ 分别表示属性的名字。

上面 2 个步骤是实体的定义,同时也给出了实体的组成元素。根据实体的组成元素,可以得到计算实体相似度的过程:

(1) 计算两个实体名字的相似度;

(2) 计算两个实体每个属性之间的相似度;

(3) 计算两个实体的属性之间相似度的最大匹配值,并和名字的相似度相加,得到的值就是两个实体的相似度。

两个属性的相似度就是它们名字的相似度。如果两个实体有多个属性,一个实体的一个属性和另一个实体的每个属性都有一个相似度。要在两个实体的属性之间建立一个一一映射关系,并且这个映射得到属性相似度之和比其他所有一一映射关系得到的值都大,这是最优匹配问题。实体属性相似度匹配、事件属性相似度匹配、状态机状态相似度匹配和交互模式动作相似度匹配是一类本质相同的问题,后面我们会给出这类问题的形式化描述。由此可以得出计算两个实体的相似度要解决两个基本的问题:(1)如何计算名字的相似度;(2)如何计算两个实体属性相似度的最大匹配值,简称最优匹配问题。

事件、状态机和交互模式的定义和实体的定义类似,也是一个逐步细化的过程。因此,它们的相似度的计算也是相似的。本质上还是要解决名字相似度计算和最优匹配问题。

如果得到了两个概念模型中实体、事件、状态机和交互模式的相似度,通过加权求和就可以得到两个概念模型的相似度。详细的计算公式在下一节给出。在这里假设实体、事件、状态机和交互模式是相互独立的,不考虑它们之间的耦合因素。

2 BOM 概念模型相似度评估算法

2.1 相似度计算过程

实体的相似度计算根据它的构成元素逐步递归进行。首先计算概念实体名字的相似度,然后根据属性的名字计算属性的相似度,最后计算属性相似度的最大匹配值。事件、状态机和交互模式的相似度的计算过程也是类似。前面说过,概念模型相似度的计算最后归结为名字相似度和最优匹配两个基本问题。如果把这两个问题解决了,通过适当的加权求和就可以得到两个概念模型的相似度。

2.1.1 名字相似性计算函数

计算名字相似度的方法总的说来有三种:(1)从信息科学的角度考虑,名字就是一个字符串,可以通过计算每个字符的相似度得到名字的相似度。但是建模过程中的名字总是有一定意义的,这种将名字当作没有意义的字符串显然和建模的初衷相悖,我们不采用这种方法。(2)一般说,概念实体是某个领域实体的抽象。如果该领域的本

体已经存在,领域本体中建立了领域概念以及概念的关系,那么可以通过领域本体计算名字的相似度,如基因本体、经济本体等。(3)如果领域本体不存在,或者不能提供足够的信息来计算概念实体名字的相似度,则可以借助一些通用的本体,如 WordNet 本体和 openCYC 本体。WordNet 本体从语言学的角度按照同义词方法对词汇进行分类。openCYC 本体记录了一般的通用知识。这些通用本体包含的概念比较广泛,可以满足一般的要求。

在这里我们采用文献[7]的方法,通过 WordNet 本体来计算名字的相似度。用 *NameSim* 表示名字相似度计算函数,其取值范围是 $[0, 1]$ 。值0表示两个名字在 WordNet 本体中没有联系,值1表示两个名字在 WordNet 本体中的意义相同。典型的情况是两个相同的名字,它们的相似度为1。

因为建模者在建模时往往通过连接几个词汇来表示某个具体实体的名称,在计算名称的相似度之前,首先需要对名称进行分词处理,分词规则如表1所示。在实践过程中我们发现,一些单词的缩写或者变形在 WordNet 本体中是找不到的。在这种情况下,如果两个名字是相同的,我们不用通过 WordNet 计算,直接将它们的相似度置为1。如果不相同,我们认为它们的相似度为0。

表1 名字分词规则

Tab.1 Rule of name token

原名字	分词结果
FighterAircraft	Fighter, Aircraft
Enum_SurvivalState	Enum, Survival, State
AFCRadar1	AFC, Radar

2.1.2 最优匹配计算函数

假设 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 和 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 是两个集合,集合元素之间的连线表示两个元素的匹配占的权重 $\text{weight}(q_i, p_j)$ 。最优匹配问题就是确保两个集合的元素有且只有一条连线时,得到整体元素匹配的最大值。这是典型二部图的最优分配问题^[8]。

假设最优匹配函数为 $\text{MaxValue}(Q, P)$, 则 $\text{MaxValue}(Q, P) = \text{Max} \sum_{i \in n}^{j \in m} \text{weight}(q_i, p_j)$, i, j 都不重复。最优匹配函数的计算过程如图1所示。因为 q_1 和 p_2, p_3 匹配的权重都为0.1,首先 q_1 和 p_1 进行匹配,这时尽管 q_2 和 p_2 匹配的权重为0.9,但由于 q_3 和 p_3 匹配的权重只有0.1,这样匹

配得到的值为2,并不是最优的。如果 q_2 和 p_3 匹配, q_3 和 p_2 匹配,得到的才是最优匹配值2.3。

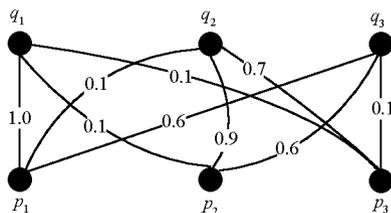


图1 最优匹配计算示例

Fig.1 An example for optimization matching computing

为了保证最优匹配计算函数的值域为 $[0, 1]$,我们将最优匹配计算函数进行归一化处理,得

$$\text{MaxValue}(Q, P) = \frac{1}{n} \text{Max} \sum_{i \in n}^{j \in m} \text{weight}(q_i, p_j) \quad (1)$$

2.2 属性相似度计算函数

在概念模型中,属性只有名字特征。属性相似度就是属性名称的相似度。用 *AttriSim* 表示属性相似度计算函数,则有

$$\text{AttriSim}(a1, a2) = \text{NameSim}(a1.name, a2.name) \quad (2)$$

其中 $a1, a2$ 表示两个属性。属性相似度的取值范围也是 $[0, 1]$ 。

2.3 实体相似度计算函数

实体相似度由实体名字相似度和属性相似度共同决定。概念实体包含多个属性,要对两个概念实体的所有的属性进行相似度匹配,通过最优匹配函数计算匹配的最大值。假设实体相似度计算函数为 *EntitySim*,则有

$$\text{EntitySim}(e1, e2) = w_n * \text{NameSim}(e1.name, e2.name) + (1 - w_n) * \text{MaxValue}(Q, P) \quad (3)$$

其中 $e1, e2$ 分别为两个概念实体, $w_n \in (0, 1)$ 为名字相似度的权重, Q, P 分别为实体 $e1, e2$ 的属性集合。

事件相似度的计算函数 *EventSim* 和概念实体相似度的计算函数类似。

2.4 状态机相似度计算函数

BOM 通过状态机表示概念实体的行为。状态机由状态机的名字和状态组成。状态又包括名字和转移条件。转移条件包括触发动作和下一个状态。

首先考虑如何计算转移条件的相似度 *ExitConditionSim(con1, con2)*。转移条件包含的元素有转触发和下一个状态,这两个元素都是名字。

因此可以通过名字相似度计算 $\text{ExitConditionSim}(con1, con2)$ 。

$$\begin{aligned} & \text{ExitConditionSim}(con1, con2) \\ &= w_n * \text{NameSim}(con1.action, con2.cation) \\ &+ (1 - w_n) * \text{NameSim}(con1.nstate, con2.nstate) \end{aligned}$$

其中 $w_n \in (0, 1)$ 表示转移动作相似度的权重。

因为一个状态包含多个转移条件, 所以状态的相似度计算函数 $\text{StateSim}(s1, s2)$ 为

$$\begin{aligned} & \text{StateSim}(s1, s2) \\ &= w_n * \text{NameSim}(s1.name, s2.name) \\ &+ (1 - w_n) * \text{MaxValue}(s1.ExitCondition, \\ & \quad s2.ExitCondition) \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $w_n \in (0, 1)$ 表示状态名字相似度的权重。

同理, 因为状态机包含多个状态, 状态机的相似度计算函数 $\text{SMSim}(m1, m2)$ 也要考虑所有状态的相似度的最优匹配问题。

$$\begin{aligned} & \text{SMSim}(m1, m2) \\ &= w_n * \text{NameSim}(m1.name, m2.name) \\ &+ (1 - w_n) * \text{MaxValue}(m1.states, m2.states) \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $w_n \in (0, 1)$ 表示状态机名字相似度的权重。

2.5 交互模式相似度计算函数

交互模式描述了两个或两个以上的实体相互作用过程。交互模式由一系列的动作构成。动作包括名字、动作序号、动作发起者、动作接受者和关联事件六个元素。动作序号表示动作执行的顺序。发起者和接收者就是实体。关联事件是事件。这六个元素都用名字的方式表示。因此, 动作的相似度计算函数

$$\begin{aligned} & \text{ActionSim}(a1, a2) \\ &= w_n * \text{NameSim}(a1.name, a2.name) \\ &+ w_{sequence} * \text{NameSim}(a1.sequence, a2.sequence) \\ &+ w_{sender} * \text{NameSim}(a1.sender, a2.sender) \\ &+ w_{receiver} * \text{NameSim}(a1.receiver, a2.receiver) \\ &+ w_{event} * \text{NameSim}(a1.event, a2.event) \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $w_n, w_{sequence}, w_{sender}, w_{receiver}, w_{event}$ 分别表示动作名字、序号、发起者、接受者和事件的相似度的权重。它们的取值范围为 $(0, 1)$, 相加之和等于 1。

交互模式的相似度计算函数为

$$\begin{aligned} & \text{InterplaySim}(i1, i2) \\ &= w_n * \text{NameSim}(i1.name, i2.name) \\ &+ (1 - w_n) * \text{MaxValue}(i1.actions, i2.actions) \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $w_n \in (0, 1)$ 表示交互模式名字相似度的权

重, $i1, i2$ 表示交互模式。

2.6 BOM 概念模型相似度计算函数

BOM 概念模型的相似度可由概念模型的名字、实体、事件、状态机和交互模式的相似度加权求和得到。但是, 为了便于讨论, 同时考虑到实体和事件的构成要素是相同的, 我们将实体和事件统一称为概念模型的接口描述。同理, 状态机和交互模型表示模型的行为描述。假设 BOM 概念模型的相似度计算函数为 BOMSim , 则有

$$\begin{aligned} & \text{BOMSim}(b1, b2) \\ &= w_n * \text{NameSim}(b1.name, b2.name) \\ &+ w_{interface} * \text{InterfaceSim}(b1, b2) + w_{behavior} * \\ & \quad \text{Behavior}(b1, b2) \end{aligned} \quad (8)$$

其中, $\text{Interface}(b1, b2) = 0.5 * [\text{MaxValue}(b1.entities, b2.entities) + \text{MaxValue}(b1.events, b2.events)]$ 表示概念模型接口的相似度, 是实体的最优匹配和事件的最优匹配的加权和。 $\text{Behavior}(b1, b2) = 0.5 * [\text{MaxValue}(b1.sm, b2.sm) + \text{MaxValue}(b1.interplay, b2.interplay)]$ 表示概念模型行为的相似度, 是状态机最优匹配和交互模式最优匹配的加权和。 $w_n, w_{interface}, w_{behavior}$ 分别为 BOM 名字相似度的权重, 接口相似度的权重和行为相似度的权重。它们的取值范围为 $(0, 1)$, 相加之和等于 1。

根据前面的公式定义可知, 概念模型相似度的值域为 $[0, 1]$ 。值 0 表示两个概念模型在 WordNet 本体的意义下没有任何相关。值 1 表示两个概念模型在 WordNet 本体的意义下完全相同, 典型的情况是两个概念模型的构成元素和结构完全相同。概念模型 $b1$ 和 $b2$ 的相似度是“1”表示在 $b1$ 中可以抽取出在结构、元素名称和 $b2$ 相同的一个子模型, 但 $b1$ 有的元素在 $b2$ 中不一定存在。BOM 概念模型重用的标准是概念模型的相似程度, 两个概念模型的相似度越高, 重用的可能性就越大, 具体能不能重用, 还需要用户判断。

3 算法的构成模块及实现

算法模块如图 2 所示。算法可以提供建模服务和模型查询服务。建模服务通过 OWL API^[10] 操作 BOM 本体库为建模人员提供创建、保存模型等建模服务。模型查询服务通过相似度计算引擎获取模型。相似度计算引擎也是通过 OWLAPI 从本体库中获取模型数据, 同时还依靠 Java WordNet SimLib^[7] 计算名称的相似度。为了测试算法, 我

们采用 JC3IEDM^[9]作为测试数据。JC3IEDM 是北约多国计划中军事交流的一个数据模型。JC3IEDM 包括 1500 多个元素以及它们之间的关系,元素涉及军事行动的所有领域:机动、火力支援、防空、工程以及反恐等。JC3IEDM 的详细介绍和如何将其转换为 BOM 本体就不是本文的讨论范围了。BOM 本体是整个软件的数据源,所有的模型数据都保存在 BOM 本体中。虽然 BOM 规范约定通过 XML 文件来表示模型,但是我们通过 OWL^[10]本体来表示概念模型。其中有两方面的原因:(1)在本体中,模型的数据保存为本体的实例,也就是在 ABox 中,可以做到最大限度的重用。比如在 BOM 本体中,一个属性 A 可以同时是不同实体的属性。如果以 XML 文件的形式保存模型,属性 A 必须出现在两个文件中;(2)将本体当作数据库,可以充分利用现有的工具访问数据库,如 jena、OWL API^[11]等。我们使用斯坦福大学提供的 OWL API 访问 BOM 本体。

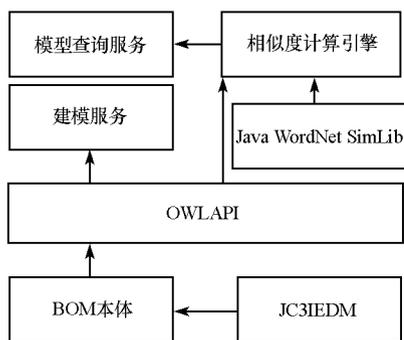


图2 算法模块图

Fig.2 Modules of Algorithm

4 实验结果

从本质上说,BOM 概念模型相似度算法属于信息查找算法的范畴。在信息查找领域,评估一个算法的好坏主要有查准率(precision)和查全率(recall)两个指标^[5]。查准率是算法查询返回的结果中正确的结果所占的百分比。查全率是算法查询得到正确的结果占数据库中所有正确的结果的百分比。假设 δ 表示查询, C_δ 表示算法返回和查询 δ 相关的结果的数量。 E_δ 表示算法返回和查询 δ 不相关的结果的数量。 T_δ 表示整个数据库中和 δ 相关的数据的数量。查准率表示为 $P(\delta) = C_\delta / (C_\delta + E_\delta)$ 。查全率表示为 $R(\delta) = C_\delta / T_\delta$ 。

为了测试算法,我们根据 JC3IEDM 构建了 37 个 BOM 概念模型。这 37 个概念模型包含 28 个概念实体,20 个事件,37 个交互模型和 35 个状态机。平均每个概念实体的属性的数量为 13 个。

概念模型分为六类,第一类 7 个,其余每类 6 个。我们认为同一类的概念模型是相关的。每一类概念模型中的实体、事件、状态和动作都是随机选取的。

为了确定相似度计算函数中的参数,我们从 5 个类别的概念模型中每个类别随机选取一个作为调整算法参数的样本。在第 2 节中的每个相似度计算函数都有名字相似度权重。以实体相似度计算函数为例,名字相似度权重决定了名字相似度和属性相似度最优匹配值在实体相似度中占的比重。由于属性相似度也是名字相似度,在这里我们认为实体的属性相似度最优匹配值和实体名字相似度同等重要。一个概念模型主要可分为接口描述和行为描述。接口描述包括实体和事件。行为描述包括交互模式和状态机。为了便于讨论,我们只研究式(8)中概念模型接口相似度权重和行为相似度权重的不同取值对算法查全率和查准率的影响。除了式(6)、(8)外,其他式中名字相似度权重全部为 0.5。式(6)中的每个权重都为 0.2。式(8)中名字相似度权重为 0.2,接口相似度权重 $w_{interface}$ 和行为相似度权重 $w_{behavior}$ 分别取值为 $\{0.1, 0.3, 0.5, 0.7\}$,总共四种组合。每种组合在样本数据上做 5 次实验,然后取平均值,得到 $w_{interface}$ 、 $w_{behavior}$ 不同取值对查全率和查准率的影响,结果如图 3 所示。图 3 的右边小框表示 $w_{interface}$ 和 $w_{behavior}$ 四种不同的组合,左边是 $w_{interface}$ 的取值,右边是 $w_{behavior}$ 的取值。从图 3 中可以看出, $w_{interface}$ 和 $w_{behavior}$ 四种不同的组合对算法的查全率和查准率的影响相差不大。我们选取 $w_{interface} = 0.5$, $w_{behavior} = 0.3$ 作为算法参数,除了五个调整参数的样本,对剩下的 32 个概念模型进行测试,得到查准率和查全率的关系取平均值,结果如图 4 所示。对比图 3 和图 4 可知,根据样本选定的参数基本可以反映算法查准率和查全率的关系。从图 4 可以看出,算法在保持 100% 的查全率的情况下,查准率还大于 75%。实验数据证明了相似度评估的正确性。要重用概念模型,首先要能从模型库中找到和需求的概念模型相似的模型。算法的查准率和查全率反映了算法查找相似的概念模型的能力,在查全率不变的情况下,越高的查准率表明算法能够更加准确地找到相似的模型;在查准率不变的情况下,越高的查全率表明算法找全相似的概念模型的能力越强,更好地支持模型重用。

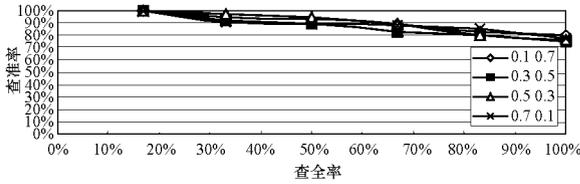


图3 接口权重参数和行为权重参数的不同组合与查全率和查准率关系

Fig.3 The relations between different combination of $W_{interface}$, $W_{behavior}$ and precision, recall

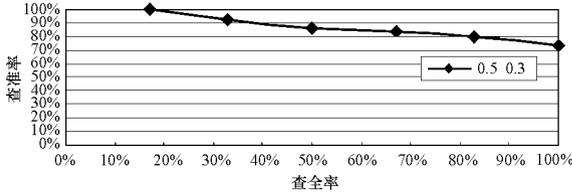


图4 测试数据中算法查全率和查准率关系

Fig.4 Relation between precision and recall on benchmark

5 结论

BOM 概念模型相似度描述两个概念模型的组成元素和结构的相似性,是评估基于 BOM 的仿真模型可重用性的一个指标。基于名字相似度和最优匹配函数的相似度评估算法可以计算两个概念模型的相似度。实验数据表明了算法的有效性。建模者和仿真系统集成人员可以通过相似度评估算法在模型库中找到和自己需求相似的模型,实现模型开发过程和系统集成过程的模型重用。

由于文章篇幅的关系,没有完全讨论算法名字相似度权重不同取值对查准率和查全率的影响。下一步的工作主要是研究 BOM 本体中实体、状态机实例数据在建模过程中的重用性;考虑

BOM 中对对象模型相似度计算问题,在对象模型中,属性有数据类型和粒度等特性,概念模型的相似度计算方法不适用于数据类型和粒度相似度的计算;研究如何提供现有算法的效率,支撑建模过程中快速的相似度计算。

参考文献:

- [1] Overstreet M, Nance E. Issues in Enhancing Model Reuse [C]// Proceedings of the First International Conference on Grand Challenges for Modeling and Simulation, Jan., 2002, San Antonio, TX, UAS: 75 - 84.
- [2] Simulation Interoperability Standards Organization. Base Object Model (BOM) Template Specification [S]. <http://www.sisostds.org>. Last access April 21, 2009.
- [3] 龚建兴, 钟蔚, 黄健, 等. 基本对象模型(BOM)在 HLA 仿真系统中的应用[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(suppl.2): 327 - 336.
- [4] Zaremski A, Wing J. Signature Matching: A Tool for Using Software Libraries [J]. ACM Transaction Software Engineering and Methodology, 1995, 4(2): 146 - 170.
- [5] Baeza-Yates R, Ribeiro-Neto B. Modern Information Retrieval [M]. ACM Press, Addison-Wesley, 1999: 70 - 80.
- [6] Plebani P, Pernici. URBE: Web Service Retrieval Based On Similarity Evaluation [J]. IEEE Trans. On Knowledge and Data Eng. 2009, 21(11): 1629 - 1642.
- [7] Seco N, Veale T, Hayes J. An Intrinsic Information Content Metric for Semantic Similarity in WordNet [C]// Proc. European Conf. Artificial Intelligence, 2004, 1089 - 1090.
- [8] 孙惠泉. 图论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 89 - 91.
- [9] Multilateral Interoperability Programme. Joint Consultation, Command and Control Information Exchange Data Model [S]. http://www.mip-site.org/040_Public_Documents.htm. Last access April 21, 2010.
- [10] Stanford University. Protégé OWL API [CP]. <http://protege.stanford.edu/plugins/owl/api/>. Last access April 21, 2010.