

# 分布式仿真多分辨率建模方法及一致性维护

袁 凌 张晓芳 李国徽 庞永杰

(华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074)

**摘 要** 在分布式仿真中,同一实体的多个分辨率模型并发以及不同实体的各个分辨率模型之间的交互会导致数据表现不一致的问题。在分析现有多分辨率建模方法的基础上,提出了适应分布式仿真环境的不同分辨率模型的树状结构建模方法,其主要由聚合级实体模型和平台级实体模型组成。为解决树状结构建模方法中不同分辨率模型的数据表现不一致问题,将不同分辨率模型间的交互看成分布式数据库中的事务,由此提出了一个嵌套两段式提交协议算法来有效解决不同分辨率模型的一致性维护问题。

**关键词** 分布式交互仿真,多分辨率建模,交互事务,一致性维护,嵌套两段式提交协议

**中图分类号** TP391.9 **文献标识码** A

## Multi-resolution Modeling and Consistency Maintenance in Distributed Interactive Simulation

YUAN Ling ZHANG Xiao-fang LI Guo-hui PANG Yong-jie

(School of Computer Science, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract** In distributed interactive simulation, the interactions among the multi-resolution models of the same entity and the multi-resolution models of different entities may cause the problem of data inconsistency. Based on the analysis of existing multi-resolution modeling methods, a tree configuration modeling method was proposed for multi-resolution modeling in distributed interactive simulation, which is composed of aggregated entity models and platform entity models. In order to solve the problem of data inconsistency in the multi-resolution models of the tree configuration modeling method, the interactive among the multi-resolution models was regarded as the transaction of distributed database management. Then a nested 2-phase-commitment protocol algorithm was proposed to settle the consistency maintenance of multi-resolution models.

**Keywords** Distributed interactive simulation, Multi-resolution modeling, Interactive transaction, Consistency maintenance, Nested 2-phase-commitment protocol

## 1 引言

由于需要用仿真解决的问题越来越复杂,仿真的规模不断扩大,用户可根据不同层次的仿真需求,建立系统的不同分辨率模型来提高大规模复杂仿真系统的运行效率。多分辨率建模(Multi-Resolution Modeling, MRM)<sup>[1,8,9]</sup>方法可针对同一系统的不同层次建立不同分辨率模型,以满足不同用户的需求,从而有效解决系统复杂性与资源有限性之间的矛盾。MRM 能提高仿真系统的灵活性和伸缩性,但如何保持不同分辨率模型所描述的系统一致性,是多分辨率建模研究领域的核心问题之一。

随着计算机网络的快速发展,分布式仿真(Distributed Interactive Simulation, DIS)成为当前仿真技术研究的重要领域之一。DIS 通过计算机网络将分散于不同地域的相对独立的各类仿真器互联起来,构成一个大规模、多参与者协同作用

的综合虚拟环境。随着分布式仿真系统规模的不断扩大,分布式仿真系统也可根据不同层次的需求建立多分辨率模型来提高分布式仿真系统的运行效率。分布式仿真系统通常分为两个层次上的仿真:一个是相对独立的平台仿真器;另一个是聚合级仿真,即将分布式环境下多个平台仿真器聚合起来构造成一个更大的仿真实体。平台级实体和聚合级实体是对同一个对象不同详细程度的描述,可分别建立相应的不同分辨率模型。在分析现有的多分辨率建模方法的基础上,本文提出了一个适应于分布式仿真环境的树状结构的多分辨率建模方法。这个树状结构多分辨率模型由平台级实体模型节点和多层次的聚合级实体模型节点组成,其中平台级实体模型节点是叶节点,聚合级实体模型节点是父节点,这种建模方法利于整个仿真系统的并发交互运行。分布式仿真中不同分辨率模型的并发运行可满足用户的不同需求,例如不同分辨率模型的并发运行经常出现在分布交互式作战仿真中。典型的场合

到稿日期:2010-12-06 返修日期:2011-03-25 本文受湖北省自然科学基金项目(2010CDB02301),华中科技大学自主创新研究基金(2010QN011),教育部高等学校博士学科点新教师基金项目(20090142120026),教育部留学回国人员科研启动基金项目(2010-174)资助。

袁 凌(1975-),女,博士,讲师,主要研究方向为分布式系统、现代数据库等;张晓芳(1970-),女,博士,讲师,主要研究方向为分布式系统、现代数据库等,E-mail:whuci@163.com(通信作者);李国徽(1973-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为现代数据库、嵌入式系统等;庞永杰(1985-),男,硕士生,主要研究方向为分布式仿真、现代数据库等。

如在分布交互式作战仿真中,坦克驾驶员既要使用以单辆坦克为粒度的高分辨率模型和导弹模型交互,又要使用以坦克编队为粒度的低分辨率模型和高炮连模型交互,此时需要高分辨率的坦克模型和低分辨率的编队模型并发运行。在分布式环境下,不同分辨率模型并发交互必定会出现数据不一致的问题,从而使得多分辨率模型的一致性维护工作更加突出。为保证仿真结果的正确性,如何在分布式仿真中维护多分辨率模型的一致性,成为我们研究的重点。

多分辨率模型的一致性研究是 MRM 领域的研究难点,也是多分辨率建模广泛应用的障碍之一。Komman<sup>[2]</sup>等学者提出了模型间的一致性度量(Measure of Consistency, MOC)的概念,但没有给出 MOC 的确切定义及其确定方法,通常情况下只能对 MOC 进行定性描述。弗吉尼亚大学的 Natrajan 等学者结合 UNIFY 方法对这一问题进行了深入的探讨<sup>[3]</sup>。由于不同分辨率模型之间的一致性和具体的仿真应用密切相关,目前还没有给出一个通用的解决方法。本文通过研究分布式仿真中不同层次上多分辨率模型的一致性问题,利用分布式数据库管理中的事务概念来处理分布式仿真中不同分辨率模型之间的交互,并由此提出了一个嵌套两段式提交协议算法,来有效解决不同分辨率模型的一致性维护问题。

## 2 相关工作与概念

多分辨率模型的一致性研究是 MRM 领域的研究难点,不同的多分辨率建模方法都会带来不同的一致性维护问题。首先,我们介绍目前应用比较广泛的几种多分辨率建模方法,并分别阐述它们的优缺点。

第一个是目前普遍使用的方法:聚合解聚法<sup>[4]</sup>。通常模型以某分辨率运行,在需要低分辨率或者高分辨率模型交互时,通过聚合或者解聚来进行转换。优点是建模是客观世界到模型世界的一个直观映射,容易为设计者所理解;缺点是易出现模型的不一致,并引入链式解聚和高开销等问题。

第二个是传统的多分辨率建模方法:视点选择法<sup>[5]</sup>。该方法中,模型始终以最高分辨率运行实体,交互时使用系统辨识技术获取对应的低分辨率模型。优点是 consistency 易于维护,视点选择过程符合用户对模型分辨率的辨识过程;缺点是计算代价大,缺乏灵活性。

第三个是 IHVR(Integrated Hierarchical Variable Resolution Modeling)建模方法<sup>[6]</sup>。该方法使用面向过程的参数层次化方法来分解模型,模型的高层参数可由底层参数运算获得或直接输入。优点是以层次化结构组织和管理模型,易于理解;缺点是模型和现实的映射过程复杂。

第四个是 UNIFY 方法<sup>[7]</sup>。该方法使用多个不同分辨率的模型并发运行来实现对一个实体的多分辨率建模。优点是消除交互中存在的相互依赖,对一致性维护有较好的支持;缺点是系统资源消耗大,无法保证复杂系统中的执行效率。

通过分析以上 4 种多分辨率建模方法,可将它们分为两大类。

第一类:通过同时运行同一个模型的多个分辨率实体,然后寻求一种多分辨率实体间相互映射的方法来保证多个分辨率实体对同一个模型的一致描述。这种方法也称为多重分辨率模型,可以很好地表现出模型世界和现实世界的映射关系,

并且多个分辨率实体的同时运行利于整个仿真系统的并发交互;但是很难维护同一个模型、不同分辨率实体之间的一致性。

第二类:运行一个模型在某个分辨率下的实体,当需要该模型的另一个分辨率实体和其他模型进行交互时,可将该模型从现时分辨率表示转换为目标分辨率表示。这种方法较易维护模型的一致性,但是转换过程计算代价相对较大。

可见,至今未有任何一种建模方法能够在保证较低的网络开销、计算代价以及资源占用量的同时,维护不同分辨率模型的一致性。

分布式仿真中的多分辨率建模可采用上述两类方法。若采用第一类方法,仿真网络中的每个节点对应一个实体(某个模型的某一分辨率表示),那么实体间的交互可直接表示为网络中节点间的交互,从而更好地表现了现实世界中对象和对象间的交互关系。在抽象层面,也更利于系统设计员的理解和开发。

若采用第二类建模方法,会将一个模型的过多功能用单个节点来完成,这样对单个节点的性能要求比较高。而且节点的性能和效率很容易成为整个分布式仿真系统的瓶颈,因为节点之间进行交互时首先要决策出交互所需要的分辨率模型,然后再进行分辨率表示的转换,从而引入过多的开销,更重要的是其结构与分布式的体系结构不符合。

国防科技大学的刘宝宏等学者<sup>[10]</sup>针对并发运行的多分辨率模型的一致性维护问题,根据多分辨率模型间的相互关系提出了同态属性和同态事件的概念。同态属性是一个实体的同一内在属性在不同分辨率下的表示,而同态事件则是指由不同分辨率的模型发出的实质上同一的事件。当不同分辨率模型并发运行时,在任意时刻一个同态属性只能由一个分辨率下的模型来维护。通过区分多分辨率直接相关属性、间接相关属性以及无关属性来维护多分辨率模型的一致性。本文在分析现有多分辨率建模方法的基础上,提出了一种适应于分布式网络环境的多分辨率建模方法,并由此解决多分辨率模型的一致性维护问题。

## 3 分布式仿真多分辨率建模方法

通过对分布式仿真多分辨率建模方法的分析研究,发现运用多重分辨率模型对实体进行建模更适合分布式网络环境,并且利于整个仿真系统的并发交互。

我们首先确定如何运用多分辨率模型在分布式仿真环境中进行建模。分布式仿真系统中包括平台级实体和聚合级实体,它们分别处于系统中的不同层次。而聚合级实体由平台级实体组成。不同的分辨率模型可与不同层次的平台级实体和聚合级实体相对应,这样一来,仿真系统中的不同分辨率模型可抽象成一个树状结构。如图 1 所示,针对每个平台级实体,构造相应的高分辨率模型。若干个平台级实体组成一个 I 级层次的聚合级实体,可构造相应的较高分辨率模型。若干 I 级层次的聚合级实体组成 II 级层次的聚合级实体,据此构造相应的次高分辨率模型。若干 II 级层次的聚合级实体组成 III 级层次的聚合级实体,可构造出相应的低分辨率模型。为便于讨论,我们这里只给出了 3 个层次的聚合级实体。

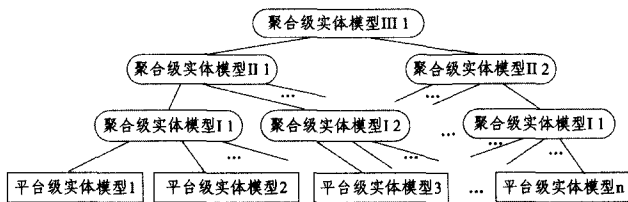


图1 分布式仿真多分辨率模型树状结构

我们用分布式仿真作战中的坦克与坦克编队作为例子来说明如何用我们提出的多分辨率模型树状结构来构造多分辨率模型。在坦克仿真作战系统中,既包括高分辨率的单辆坦克实体,也包括低分辨率的坦克编队。坦克一般分为战斗坦克和特种坦克两种类型。战斗坦克又分为超轻型、轻型、中型、重型和超重型等类型;特种坦克分为水路、侦查、空降、指挥和架桥等类型。根据图1所示的多分辨率模型树状结构,将坦克仿真作战系统构造成为不同层次、不同分辨率的多分辨率模型。最底层的平台级实体模型主要包括各种类型的单辆坦克模型,第I级、II级和III级聚合级实体模型主要包括各种类型的坦克编队。这种多分辨率建模方式能满足坦克驾驶员和不同级别的指挥员在作战中的不同需求。

如图2所示,平台级实体模型包括超轻型坦克模型、轻型坦克模型、超重型坦克模型、中型坦克模型、重型坦克模型、水路坦克模型、空降坦克模型、架桥坦克模型、侦查坦克模型和指挥坦克模型。第I级聚合级实体模型包括辅助坦克编队模型、主战斗坦克编队模型、工程特种坦克编队模型和作战特种坦克编队模型,它们分别由不同类型的平台级实体模型组成。第II级聚合级实体模型包括战斗坦克编队模型和特种坦克编队模型,它们由不同的I级聚合级实体模型组成。第III级聚合级实体模型是坦克编队模型,它由II级聚合级实体模型组成。这就将所有类型的平台级实体模型都包含进来了,便于最高级别的指挥官作全局战术安排。

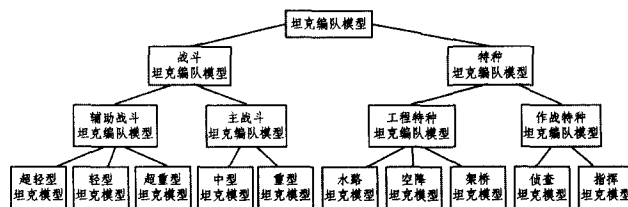


图2 坦克仿真作战系统的多分辨率模型树状结构

#### 4 分布式仿真多分辨率模型一致性维护

我们所提出的多分辨率模型树状结构建模方法有利于整个仿真系统的并发交互,但不同分辨率模型之间的一致性维护问题更加突出。所谓一致性维护问题,是指当同一层次上的实体模型之间发生交互时,若模型属性发生变化,要反映到与此实体相关的所有分辨率模型中,从而保证同一实体的不同分辨率模型在属性上保持一致。

##### 4.1 多分辨模型属性的划分

多分辨率模型树状结构中处于不同层次上的实体模型可通过建立属性映射函数来实现不同模型间的属性转换。模型的属性可根据它们在不同分辨率模型之间的映射关系分为3类。

直接相关属性(Direct Relevant Attribute, DRA):指在不

同分辨率模型之间存在直接映射关系的属性。

间接相关属性(Indirect Relevant Attribute, IRA):指的是虽然不存在直接映射关系,但受直接相关属性影响或会对直接相关属性产生影响的属性。

无关属性(Irrelevant Attribute, IA):指只在某一个分辨率下所特有且与多分辨率建模无关的属性。

我们将重点维护直接相关属性,间接相关属性可通过直接相关属性计算得到。通过区分发生改变的属性类别,可以提高多分辨率模型一致性维护的效率。

##### 4.2 多分辨率模型交互模式

在分布式交互仿真中,同一实体的多分辨率模型与其它实体模型发生交互时,会引起该模型属性的改变,而这个改变必须反映到同一实体的其它分辨率模型的相应属性上。交互所引起的不同分辨率模型属性的一致性维护问题,与分布式数据库中由于事务引起的不同节点上数据变化的原子性维护问题相似。从而,分布式仿真中不同分辨率模型间的交互可以看成是一个分布式事务。

若要保证分布式事务的原子性,执行事务 $T$ 的所有模型必须在执行的最终结果上取得一致。 $T$ 必须做到要么在所有模型上都提交,要么在所有模型上都终止。保证事务原子性的两段式提交协议(2-Phase-Commitment Protocol, 2PC)包括两个阶段:第一个阶段是预提交阶段,即通知所有参与事务的节点有关事务的操作信息;第二个阶段是提交阶段,即所有参与事务的节点完成相关操作。可见,在两段式提交协议的第一个阶段就必须知道事务所涉及的所有节点。在分布式仿真系统中,不同分辨率模型可与参与事务的节点相对应,但不同的是,当一个交互发生时,根据我们的多分辨建模方法,发生交互的模型只与其父节点和子节点有属性映射关系,因此不知道它自身属性的变化会影响到的所有模型。为确保交互中所涉及的所有实体的所有相关分辨率模型在属性上的一致性,我们对分布式数据库中两段式提交协议做了相应的改进,提出了嵌套两段式提交协议(Nested 2PC, N2PC)。

##### 4.3 嵌套两段式提交协议(N2PC)

N2PC分为两个阶段:询问阶段和决策阶段。过程是仿真交互发起者,某个实体的分辨率模型充当协调者(Coordinator),询问所有参与者(Participator),即直接关联模型是否准备好参与交互。如果有一个参与者回答“NO”或者在规定时间内未对协调者做出响应,则协调者将命令所有的参与者终止交互;如果所有的参与者回答“YES”,则协调者决策所有的参与者提交事务。

协调者和参与者参与询问的有关规则如下:

- (1) 每个参与者只有一次答复协调者询问的机会,可回答“NO”或“YES”。
- (2) 参与者一旦回答完询问,不得更改回复。
- (3) 如果一个参与者回答了“NO”,则之后它可以立刻终止自己的事务。也就是说,只要没有为该事务打上“YES”的标志,随时都可以终止该事务,这就是所谓的单方面终止。
- (4) 如果一个参与者回复了“YES”,则之后它必须等待协调者的广播通知:“全局性提交”或者“全局性终止”。
- (5) 若所有的参与者都回复了“YES”,那么协调者必须做出“全局性提交”策略。

(6) 所有的参与者都必须服从协调者的全局性策略。

在 N2PC 中,对于每一个交互的参与者,当它接收到协调者的询问时,它自己也会充当协调者,根据自身更新的属性,并在属性不同类别的基础上,找到与该模型直接关联的树状结构的上下层模型,然后对这些模型也进行一个两阶段协议的询问阶段。只有这些模型都回答了“YES”,该模型才能对原先的协调者回答一个“YES”,否则回答“NO”。当参与者接收到协调的“全局性提交”通知时,在完成自身事务提交后还要对与之直接关联的上下层模型发送一个“全局性提交”的通知。嵌套两段式提交协议(N2PC)的算法描述如下所示:

Nested\_2PC(node, transaction)

描述:嵌套两段式提交协议的执行过程

输入:node(某个不同分辨率模型节点)

transaction(交互事务)

输出:yes/no(事务是否可以提交)

Begin

```

/* 如果收到一个来自父节点的提交询问 */
1. if transaction.question from node.parent
/* 询问节点的每个子节点,该交互是否准备好提交 */
2. for each child in node.children
/* 只要有一个节点回答否,那询问结果就是否 */
3. if Nested_2PC(child, transaction) == no
4. return no
5. end if
6. end for
/* 如果收到一个来自儿子节点的提交询问 */
7. else if transaction.question from node.child
/* 如果父节点回答否,那节点对询问的回答也是否 */
8. if Nested_2PC(node.parent, transaction) == no
9. return no
10. end if
/* 如果节点自身是事务的发起者 */
11. else
/* 询问节点的所有子节点和父节点,该事务是否准备好提交 */
12. for each child in node.children
13. if Nested_2PC(child, transaction) == no
14. return no
15. end if
16. if nestification_2p(node.parent, transaction) == no
17. return no
18. end if
19. end if
/* 当节点的所有祖辈节点和子孙节点都回答可以提交事务,再询问
节点本身是否准备好提交,如果是则提交,否则取消 */
20. if transaction.prepared
21. return yes
22. else
23. return no
24. end if
End

```

N2PC 算法的嵌套过程确保了每个不同分辨率模型的属性变化能反映到多分辨率模型树状结构中与之相关联的所有不同分辨率模型中,从而维护了多分辨率模型在交互中的数据一致性。

以一个例子来说明嵌套两段式提交协议的执行过程,如图 3 所示。当模型 M31 与其他实体模型发生交互时,自身属性发生改变。根据对属性的判别,这个发生改变的属性是直

接相关属性,这样需要运用嵌套两段式提交协议算法来维护数据的一致性。首先,模型 M31 需要根据属性映射找到由于它变化而跟着变化的其他直接相关分辨率模型(M21, M41, M42)。这些模型就是更新事务的参与者。M31 自身作为事务的协调者询问参与者(M21, M41, M42),如果有一个参与者回答“NO”,则事务等待;如果所有参与者都回答“YES”,则进行“全局性提交”。参与者 M41 收到 M31 的询问后,首先根据属性映射找到由于它变化而跟着变化的其他直接相关分辨率模型(M51, M52),然后 M41 作为询问者询问这两个模型,当这两个模型都回答“YES”时,那么 M41 才能向 M31 回答“YES”,否则向 M31 回答“NO”。同理,对模型 M21 和 M42 也要执行同样的过程。最后所有参与者(M11, M21, M41, M42, M51, M52)都根据模型 M31 的属性变化和对应的属性映射关系来完成自身属性的更新(图中带箭头实线为询问,带箭头虚线为回答)。

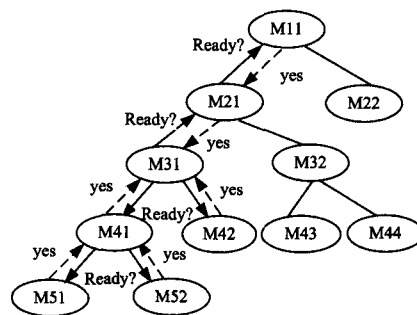


图 3 嵌套两段式提交协议执行过程示例

通过所提出的 N2PC 协议,我们可以保证:

- (1) 一个实体模型的属性变化准确地反映到与该模型同一实体的其他分辨率模型上;
- (2) 一个交互事务在所有的实体模型上要么都提交,要么都中止。

可见,该 N2PC 协议能确保交互事务的正确性(所有涉及的实体模型都参与交互事务的执行)和原子性(交互事务在每个实体模型上要么都提交,要么都中止)。因此,就不会出现实体的某个分辨率模型发生了变化而其他分辨率模型没有做出相应改变的情况,以此来维护不同分辨率模型之间数据的一致性。

## 5 性能分析

我们首先针对分布式交互仿真系统开发了一个原型系统,以此原型系统作为平台,在分布式多分辨率模型交互中运用文中所提出的嵌套两段式提交协议 N2PC,并测试系统单位时间内交互事务的提交量和参与仿真的多分辨率模型数量的关系。通过这个测试来分析整个分布式仿真系统在需要维护多分辨率模型数据一致性的情况下的系统吞吐量。所谓吞吐量是指系统以最少时间进行最多网络交互事务的能力。测试吞吐量能够说明待测系统在多个模拟用户同时工作时的性能。

在我们的测试中,对每个实体的描述使用 5 个多分辨率模型,每次增加 10 个实体,也就需要增加 50 个多分辨率模型。多分辨率模型之间采用随机的方式进行交互,最后观察每秒钟事务的提交量(即每秒内完成的交互次数)。实验结果

(下转第 147 页)

- [18] Chen D, Shang M, Fu Y. Detecting overlapping communities of weighted networks via a local algorithm[J]. *Physica A*, 2010, 389:4177-4187
- [19] Chen D, Fu Y, Shang M. A fast and efficient heuristic algorithm for detecting community structures in complex networks[J]. *Physica A*, 2009, 388:2741-2749
- [20] Zhou T, Fu Z, Wang B H. Epidemic dynamics on complex networks[J]. *Progress in Natural Science*, 2006, 16:452-457
- [21] Brandes U. A faster algorithm for betweenness centrality[J]. *Journal of Mathematical Sociology*, 2001, 25:163-177
- [22] Sabidussi G. The centrality index of a graph[J]. *Psychometrika*, 1966, 31:581-603
- [23] Brandes U, Pich C. Centrality estimation in large networks[J]. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2007, 17:2303-2318
- [24] Wang J H, Liu J Y, Wang C. Keyword extraction based on pagerank[C]//11th Pacific-Asia Conference Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. Nanjing, China, 2007:857-864
- [25] 赵明昌, 崔霞, 李耀东. 基于共引分析的中草药相互关系可视化算法[J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(22):10-12
- [26] Joo J, Lebowitz J L. Behavior of susceptible-infected-susceptible epidemics on heterogeneous networks with saturation[J]. *Physical Review E*, 2004, 69:066105
- [27] Olinky R, Stone L. Unexpected epidemic thresholds in heterogeneous networks; The role of disease transmission[J]. *Physical Review E*, 2004, 70:030902
- [28] Zhou T, et al. Behaviors of susceptible-infected epidemics on scale-free networks with identical infectivity[J]. *Physical Review E*, 2006, 74:056109
- [29] Newman M E J. The structure of scientific collaboration networks[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 2001, 98:404-409
- [30] Leskovec J, Kleinberg J, Faloutsos C. Graph Evolution; Densification and shrinking diameters [J]. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 2007, 1:1-41

(上接第 143 页)

如图 4 所示。

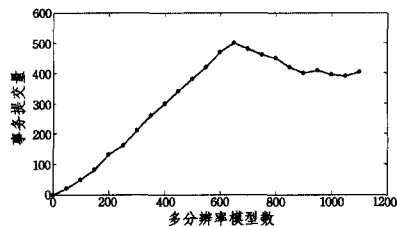


图 4 性能测试结果

我们发现每秒内的事务提交量在一开始是随着模型数量的增加而增加的。当增加到 500 时,随着模型数量的增加,事务的提交量会随之下降,最后平稳在每秒 400 次左右。而当模型的数量增加到 700 时,为维护多分辨率模型的数据一致性,某些事务被迫取消,此时事务的提交量就稳定在 400 到 500 这个范围之内。从中可以看出,为维护分布式仿真系统多分辨率模型数据的一致性,随着多分辨率模型的大幅度增加,交互事务的提交量会受到一定的限制。

**结束语** 随着计算机网络技术的快速发展,分布式仿真中的多分辨率建模技术是目前研究的热点。通过分析现有分布式仿真的建模方法,本文提出了适应分布式仿真环境的多分辨率模型树状结构建模方法。这个建模方法由平台级实体模型和聚合级实体模型组成。平台级实体模型是实体的高分辨率模型,而聚合级实体模型是实体的低分辨率模型,而且聚合级实体模型是平台级实体模型的父节点,两者之间采用属性映射的方法进行交互。为维护分布式仿真系统中多分辨率模型之间的数据一致性,我们将分布式数据库事务的概念运用到分布式仿真交互中,提出了一个嵌套两段式提交协议来保证分布式交互仿真中交互事务的原子性,确保一个交互要么不发生,要么发生。并且该交互所发生的影响必须反映到同一实体的所有分辨率模型上,从一定程度上避免了多分辨率模型对实体的不一致描述。

今后的研究可以继续借鉴分布式数据库的知识,将其应

用到分布式仿真领域中。例如,由于嵌套两段式提交协议网络的实时性有一定的依赖,并且可能要夭折掉一些交互事务,可研究运用数据库的日志和事务重启等技术来改进所提出的嵌套两段式提交协议,使其更好地应用于分布式仿真的多分辨率建模中。

## 参 考 文 献

- [1] Davis P K, Bigelow J. Introduction to Multi-resolution Model (MRM) with an Example Involving Precision Fires[C]//Proceeding of SPIE AeroSense on Enabling Technology for Simulation Science(II). 1998
- [2] Komman B D, Marion P B. Cross-model Consistency in JSIMS [R]. Lockheed Martin Information Systems Advanced Simulation Laboratory
- [3] Reynolds Jr P F, Natrajan A, Srinivasan S. Consistency Maintenance in Multi-resolution Simulations [J]. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 1997, 7(3)
- [4] Biddle M. A Proposed Scheme for Implementing Aggregation and Disaggregation in HLA[C]//Processing of 2000 Fall SIW. 2000
- [5] Natrajan A. Consistency Maintenance in Concurrent Representations[D]. School of Engineering and Applied Science at the University of Virginia, 2000
- [6] David P K, Bigelow J. Experiments on Multi-resolution Modeling(MRM)[R]. RAND Report-MR1004. 1998
- [7] Natrajan A, Reynolds Jr P F, et al. A Flexible Approach to Multi-resolution Modeling [J]. *Parallel and Distributed Simulation*, June 1997
- [8] 刘宝宏, 黄柯棣. 多分辨率建模的研究现状与发展[J]. *系统仿真学报*, 2004, 16(6):1150-1154
- [9] 郭齐胜, 杨立功. 基于 HLA 的聚合级 GGF 初探[J]. *计算机工程与应用*, 2001(19):41-43
- [10] 刘宝宏, 黄柯棣. 分布交互式仿真中的多分辨率模型并发运行问题研究[J]. *系统仿真学报*, 2007, 19(5):1038-1077