

文章编号 :1001 - 2486(2004)06 - 0075 - 04

分布虚拟战场环境 CGF 行为调度*

曾 亮, 郑 义, 李思昆

(国防科技大学计算机学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要 提出了一种分布虚拟战场环境中计算机生成兵力(CGF)实体行为调度方法, 该方法由仿真结点对结点中运行的所有本地 CGF 实体及异地实体的远程模型所产生的行为进行集中式调度。通过本地 CGF 实体的兴趣域动态决定需要执行的异地实体远程模型行为的优先级及执行最后时限, 通过将本地所有 CGF 实体的兴趣域合并, 减少仿真结点需要调度的异地实体远程模型数量, 进一步降低仿真结点的计算开销。该方法可以有效地确保分布虚拟战场环境对仿真实时性及真实性的要求。

关键词 :分布虚拟战场环境 ;实时系统 ;兴趣管理

中图分类号 :TP391 **文献标识码** :A

CGF Behavior Scheduling in Distributed Virtual Battlefield Environment

ZENG Liang, ZHENG Yi, LI Si-kun

(College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :A CGF behavioral scheduling technique is presented. The method addresses the scheduling of behaviors generated by CGF of the local simulation node and the remote model in other nodes. All the behaviors are scheduled in a centralized way. The behavior priority and executive deadline of the remote model are decided by the interest domain of CGF in the local node, through the combination of all the CGF interest domain to reduce the number of remote models, and the cost of the simulation node computing. The method can effectively ensure the requirement of real-time and quality of the distributed virtual battlefield environment.

Key words :distributed virtual battlefield environment ;real-time system ;interest management

分布虚拟战场环境中, CGF 实体感知虚拟战场态势的变化, 生成相应的行为序列, 通过行为的执行与虚拟战场环境进行交互, 行为的执行时间必须满足虚拟战场环境的实时性要求, 随着 CGF 实体行为模型的复杂度及 CGF 实体数量的增加, CGF 实体的行为执行调度成为构造大规模分布虚拟战场环境的重要技术。

CGF 实体的行为执行调度具有如下的特点 (1)仿真结点上本地 CGF 实体对象的行为执行是必须要保证的 (2)仿真结点上维护的实体除了本结点所创建的 CGF 实体对象外, 还包括由其他结点所创建的实体的远程模型。CGF 行为执行调度需要同时考虑本结点 CGF 实体对象以及本结点维护的所有远程实体模型 (3)大规模分布式虚拟战场环境中, 每个仿真结点上的远程实体模型的数量一般要远远多于本地实体数量。大量的远程实体模型会严重地消耗仿真结点机的计算资源, 而不同的远程实体模型对于本地 CGF 实体对象的重要程度是不同的, 对于远程实体模型, CGF 行为执行调度应当首先满足对本地实体重要的远程实体模型的执行, 因此必须有效地对远程实体模型进行划分, 确定哪些远程实体模型需要进入实时调度。

针对上述特点, 从三个方面入手 (1)基于分级兴趣管理技术^[1], 根据 CGF 实体对象的兴趣域对远程实体模型进行划分, 确定远程实体模型对本实体重要程度 (2)通常位于一个仿真结点上的不同 CGF 实体对象的兴趣域之间存在交集, 通过将本地所有 CGF 实体对象的兴趣域进行合并, 最终确

* 收稿日期 2004 - 06 - 12

基金项目 :国家 973 重大基础研究计划项目(2002CB312105) ;国家 863 高技术项目(2001AA115132)

作者简介 :曾亮(1970—) ,男, 副研究员, 博士。

定远程实体模型执行的最后时限 (3) 根据本地 CGF 实体对象和远程实体模型的执行最后时限确定执行优先级并进行调度。

1 相关定义

定义 1 实时系统中的任务一般都为周期任务,任务 τ 的属性可表示为三元组 (C, T, D) , 其中 T 为 τ 的任务周期,即任务 τ 每隔时间 T 运行一次; C 为任务 τ 的最大请求运行时间,即在每个周期中,该任务在独占 CPU 运行的情况下所需的最大运行时间; D 则为任务 τ 的最后时限,即在每个周期中,任务 τ 从该周期的起始时刻至该次执行完成所允许经历的最大时间间隔^[2,3]。

定义 2 设 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 为仿真结点上的本地 CGF 实体对象集合, $G = \{g_1, g_2, \dots, g_l\}$ 为仿真结点上的远程实体模型集合,在 CGF 系统的每个结点中,CGF 实体对象是有实时性要求的,每个实体 e_i 都对应一个任务,该任务负责处理对应实体在一个仿真周期中产生的所有行为,称为实体行为任务,记为 $\tau(e_i)$,该任务的周期 $\pi(e_i)$ 以及最后时限 $D(e_i)$ 均为一个仿真周期, $\alpha(e_i)$ 则根据对应实体不同而各不相同。

对于 CGF 系统每个仿真结点中的远程实体模型,某些远程实体模型也有实时性要求,其任务周期以及最后时限的确定将在后面进行论述。

定义 3 实体感兴趣的数据的集合称为该实体的兴趣域(DOI)。

定义 4 数据包可以到达的参数空间称为此数据的责任域。一实体发送的状态数据可以到达的参数空间统称为该实体的责任域(DOR)。

2 基于分级兴趣管理的远程实体模型集合划分

分级兴趣管理将实体的兴趣域根据对远程实体的兴趣度由高到低进行划分,设 $DOI_1(e_i), \dots, DOI_n(e_i)$ 为实体 e_i 的兴趣域划分,每个兴趣域内包括实体 e_i 不同兴趣度的远程实体。实体 e_i 的兴趣域划分满足如下关系:

$$\begin{aligned} \bigcup_{1 \leq j \leq n} DOI_j(e_i) &= DOI(e_i) \\ \bigcap_{1 \leq j \leq n} DOI_j(e_i) &= \Phi \end{aligned}$$

记 $G_{e_k}^i = \{g_{ij}\}$ 为出现在实体 $e_k (e_k \in E)$ 的第 i 级兴趣域内的实体对应的远程模型集合,其中 g_{ij} 为实体 e_k 第 i 级兴趣域内的第 j 个实体的远程模型。

通常位于一个仿真结点上的 CGF 实体对象基本属于同一个演练方,位置接近,组织关系密切,不同 CGF 实体对象之间的兴趣域之间存在非空交集,即一个异地实体可能存在于多个本地 CGF 实体对象的兴趣域中,如图 1 所示,实体 e_1, e_2 有着相同的兴趣域。

设实体的兴趣域的划分数为 n , 则可以将仿真结点上的远程实体模型划分为 n 个集合,每个集合

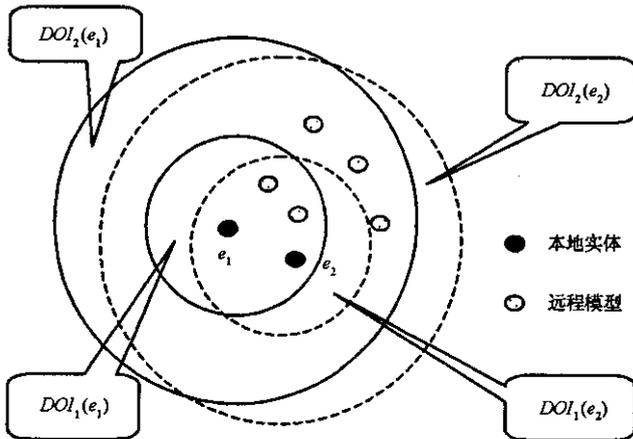


图 1 CGF 实体对象的兴趣域交集

Fig. 1 Intersection of CGF interest domain

对应一级兴趣域,其中第 i 个远程实体模型集合为:

$$G^i = \bigcup_{j=1}^m G_{e_j}^i - [(\bigcup_{k=1}^{i-1} G^k) \cap (\bigcup_{j=1}^m G_{e_j}^i)]$$

即仿真结点上第 i 个远程实体模型集合为所有 CGF 实体对象的第 i 级兴趣域内实体的远程模型集合去掉仿真结点前 $i-1$ 个集合中已经出现的远程模型。对于 G^i ,其 i 值越小,表示该集合内的远程实体模型对本地实体越重要。

3 远程模型执行最后时限的设定

按照上节的方法对仿真结点上的远程实体模型的集合划分,由于集合基于仿真结点上 CGF 实体的兴趣度进行划分,兴趣度越低的集合内的远程实体模型对本地实体来说越不重要,因此其任务周期设定可以越长,执行最后时限始终与其任务周期相同。因此不同集合内的远程实体模型之间的任务周期和执行最后时限要求满足如下关系:

$$\pi(g_{ij}) < \pi(g_{kl}), D(g_{ij}) < D(g_{kl}), g_{ij} \in G^i, g_{kl} \in G^k, i < k \quad (1)$$

式中 g_{ij}, g_{kl} 分别位于仿真结点不同的远程模型集合中, $D(g_{ij}), D(g_{kl})$ 为 g_{ij}, g_{kl} 的执行最后时限, $\pi(g_{ij}), \pi(g_{kl})$ 为 g_{ij}, g_{kl} 的执行周期。

远程实体模型任务的周期和时限根据式(1)进行设定。在实际应用中,根据远程实体模型所在的集合,其任务的周期和最后时限可设为仿真周期、两倍仿真周期、……、 n 倍仿真周期。

此外,由于兴趣域划分方法的不同,某些兴趣域划分中将最外一级兴趣域定义为在其他兴趣域外的所有实体,这样的划分导致最外一级的兴趣域内的实体的远程模型过多,且这些模型对本地实体无关紧要,因此,对于此类划分的最外一级兴趣域的远程模型不分配执行最后时限,而是在调度空闲时进行处理。

4 行为执行调度算法

综合上面两节,给出仿真结点的 CGF 实体行为执行调度算法,算法如下:

(1) 对于所有结点,将该结点上所有远程实体模型进行集合划分,得到结点的 $G^i (1 \leq i \leq n)$, n 为实体兴趣域个数,设定 G^i 内的远程实体模型任务的最后时限;

(2) 根据最后时限分配所有 CGF 实体行为任务以及所有远程模型任务的优先级,最后时限越短的任务,其任务优先级越高。对于每个 G^i 内的远程实体模型 g_{ij} ,由于 $D(g_{ij}) < D(g_{kl}), g_{ij} \in G^i, g_{kl} \in G^k, i < k$,因此 i 值越小的 g_{ij} 执行优先级越高;

(3) 结点按照优先级调度本地 CGF 实体的任务和各远程实体模型任务的运行。

在所有固定优先级分配策略中,基于最后时限的优先级分配策略是最优的,此时最优是指如果该策略不能使某个任务集(该任务集符合第1节中所述任务模型)满足其实时性要求,则任何其他固定优先级分配策略也不能满足该任务集的实时性要求。详细证明可参见 Liu^[5]。本算法正是采用这种策略进行优先级分配,算法以较少的计算资源满足仿真结点上任务的实时性要求,进一步降低系统成本,保证本地 CGF 实体对象及对本地 CGF 实体对象重要的远程模型任务的优先执行。

5 仿真结点的实时性验证

为了验证仿真结点的实时性及解决在满足实时性要求的前提下仿真结点可以运行多少个本地 CGF 实体及远程实体模型的问题,通过理论分析的方法给出一个仿真结点的实时性验证方法。

如上所述,CGF 系统某结点上的任务集为:

$$\{\pi(e_1), \dots, \pi(e_m), \pi(g_{11}), \dots, \pi(g_{1k_1}), \dots, \pi(g_{n1}), \dots, \pi(g_{nk_n})\}$$

其中 $\pi(e_1), \dots, \pi(e_m)$ 为本地 CGF 实体对象任务集, $\pi(g_{11}), \dots, \pi(g_{1k_1}), \dots, \pi(g_{n1}), \dots, \pi(g_{nk_n})$ 为远程实体模型任务集, $k_i (1 \leq i \leq n)$ 为仿真结点第 i 个远程实体模型集合的模型个数。

基于上述任务集,根据 Lehoczky^[6]提出的任务最大响应时间分析算法,本地实体行为任务 $\pi(e_i)$ 的最大响应时间为:

$$R(e_i) = \alpha(e_i) + \sum_{\forall \tau(e_j) \in hp(e_i)} \left[\frac{R(e_j)}{T(e_j)} \times \alpha(e_j) \right]$$

其中 $hp(e_i)$ 是任务集中优先级高于 $\tau(e_i)$ 的实体行为任务集合。

上式直接计算比较困难,所以采用了一种迭代方法来计算 $R(e_i)$,迭代方程为:

$$R(e_i)^{(m+1)} = \alpha(e_i) + \sum_{\forall \tau(e_j) \in hp(e_i)} \left[\frac{R(e_j)^{(m)}}{T(e_j)} \times \alpha(e_j) \right]$$

初值 $R(e_i)^{(0)} = \alpha(e_i)$,当迭代至 $R(e_i)^{(k+1)} = R(e_i)^{(k)}$ 时,迭代过程终止,此时 $R(e_i) = R(e_i)^{(k)}$ 。

对于该仿真结点,如果对任意 $\tau(e_i)$,都有 $R(e_i) \leq D(e_i)$,则本地实体任务的实时性肯定能够得到满足。

对于 ghost 模型任务 $\tau(g_{ij})$,其最大响应时间为:

$$R(g_{ij}) = \alpha(g_{ij}) + \sum_{\forall \tau(g_{kl}) \in hp(g_{ij})} \left[\frac{R(g_{kl})}{T(g_{kl})} \times \alpha(g_{kl}) \right]$$

其中 $hp(g_{ij})$ 是任务集中优先级高于 $\tau(g_{ij})$ 的 ghost 模型任务以及所有实体行为任务组成的集合。

采用同样的迭代方程:

$$R(g_{ij})^{(m+1)} = \alpha(g_{ij}) + \sum_{\forall \tau(g_{kl}) \in hp(g_{ij})} \left[\frac{R(g_{kl})^{(m)}}{T(g_{kl})} \times \alpha(g_{kl}) \right]$$

初值 $R(g_{ij})^{(0)} = \alpha(g_{ij})$,当迭代至 $R(g_{ij})^{(k+1)} = R(g_{ij})^{(k)}$ 时,迭代过程终止,此时 $R(g_{ij}) = R(g_{ij})^{(k)}$ 。

对于该仿真结点,如果对任意 $\tau(g_{ij})$,都有 $R(g_{ij}) \leq D(g_{ij})$,则远程模型任务的实时性肯定能够得到满足。

若本地实体任务的实时性与远程模型任务的实时性都能得到满足,则仿真结点的实时性可以得到满足。同时将本地 CGF 实体对象的个数、远程实体模型个数、每级兴趣域的远程模型个数的不同组合带入上两式,计算是否满足实时性要求,对仿真结点上可以放置多少个本地 CGF 实体,可以处理多少个远程实体模型及 CGF 实体兴趣域如何划分均可提供指导性意见。

6 结论

本文提出了一种分布式虚拟战场环境中 CGF 实体对象行为执行调度方法,与传统的固定优先级调度方法相比,本方法可以根据 CGF 实体对象的兴趣域动态确定需要执行的远程模型任务的执行最后时限与优先级,保证了本地 CGF 实体对象及对本地实体重要的远程实体模型任务的优先执行。

参考文献:

- [1] 何连跃,李思昆,曾亮,等. 大规模分布虚拟环境中的分级兴趣管理[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2000,(9).
- [2] Park Y, Shaw A C. Experiments with a Program Timing Tool Based on Source[J]. Level Timing Schema. Computer, 1991, 24(5): 48-57.
- [3] Pushner P, Koza C. Calculating the Maximum Execution Time of Real-time Programs[J]. Real-time Systems, 1989, 1(2): 159-176.
- [4] Forsyth C H. Implementation of the Worst-case Execution Time Analyzer[J]. Task 8, Vol. E, York Software Engineering Limited, University of York, 1992.
- [5] Liu C L, Layland J W. Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-real-time Systems[J]. Journal of the ACM, 1973, 20(1): 46-61.
- [6] Lehoczky J, Sha L, Ding Y. The Rate Monotonic Scheduling Algorithm: Exact Characterization and Average Case Behaviour[A]. Proceedings of IEEE Real-time Systems Symposium, 1989: 166-171.
- [7] 郑义. 计算机生成兵力行为建模与实现技术研究[D]. 国防科技大学计算机学院博士学位论文, 2003.

