

大规模协同虚拟环境下并行层次兴趣匹配算法

郦丽华

(浙江育英职业技术学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:大规模协同虚拟环境运行过程中易产生大量冗余通信数据,影响虚拟现实技术性能的发挥。为了提升虚拟环境运行效率,提出并行层次兴趣匹配算法研究。创建协同虚拟环境概念模型,分解处理订阅区域信息,以此为基础,引入树结构理论搭建兴趣管理树,将订阅区域映射到兴趣管理树节点上,形成层次化结构,结合 LSQR 并行算法,实现更新区域与订阅区域的快速匹配。实验结果显示:提出算法获得的兴趣匹配消耗时间最小值为 0.36s,兴趣匹配成功指数最大值为 0.94,充分证实了提出算法兴趣匹配性能较佳。

关键词:协同虚拟环境;兴趣匹配;多层次并行;大规模;并行算法;仿真场景

中图分类号:TP391.1

文献标志码:A

文章编号:0199(2024)02-0048-05

虚拟现实技术也可以称为虚拟环境,是信息领域重点研究方向之一^①。虚拟现实技术能构造虚拟环境,同时通过人机交互操作使人类达到身临其境的感觉。由于现实世界具有一定的复杂性,单机虚拟现实系统已经无法满足实际的应用需求,有效融合网络技术与虚拟现实技术,产生协同虚拟环境概念,可以通过网络打破空间限制,实现远程会面与协同工作,为人们提供便利服务^②。

在协同虚拟环境下,以订阅、发布为基础的通信模式虽然能够建立较好的成员依赖关系,但是无法进行有效的数据过滤,从而造成大量冗余通信数据,使得虚拟现实技术应用性能大大降低^③。将数据生产者发送数据定义为更新区域,数据消费者需求数据定义为订阅区域,通过数据分发管理服务即可实现数据过滤功能。数据分发管理服务即兴趣匹配(更新区域与订阅区域),此种方式能够大大减少冗余数据传输通信。然而,随着协同虚拟环境规模的扩张,仿真实体数量也随之增加,更新、订阅区域变化频率更加迅速,使兴趣匹配运算量呈现暴增趋势,兴趣匹配效率受到了较大的不利影响,限制了虚拟现实技术的发展与普及,故提出大规模协同虚拟环境下并行层次兴趣匹配算法研究,希望通过并行层次的构建,提升兴趣匹配

效率,为大规模协同虚拟环境的应用提供助力。

1 并行层次兴趣匹配算法研究

1.1 协同虚拟环境概念模型创建

大规模协同虚拟环境是一种以参与者“更新/订阅”方式进行通信的体系,其具有较好的扩展性^④。在虚拟环境中,数据生产者与消费者以“事件”为载体进行交互,两者也可称为更新者与订阅者。依据上述描述内容创建协同虚拟环境概念模型,具体如图 1 所示。

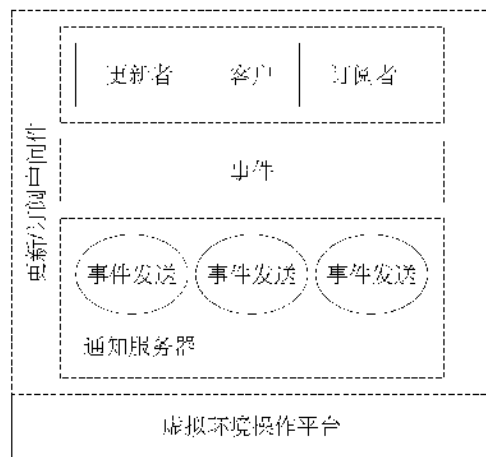


图 1 协同虚拟环境概念模型示意图

收稿日期:2023-10-28

作者简介:郦丽华(1979-),女,浙江育英职业技术学院,讲师,研究方向:高职计算机应用教育。

① 谢尚威,华蓓. 虚拟机环境下 MPI/RDMA 库的通信优化[J]. 小型微型计算机系统,2021,42(7):1505-1510.

② 刘浩文,刘东,陈张宇,等. 多级协同虚拟电厂环境下的无功辅助服务优化出清[J]. 电网技术,2021,45(7):2533-2541.

③ 唐文杰,程俊玮,姚益平,等. 一种基于共享存储的并行层次兴趣匹配算法[J]. 系统仿真学报,2021,33(5):1086-1094.

④ 汪洋,江世杰,曹宇聪,等. 多编码树 GPU 并行轴心子图匹配[J]. 计算机应用,2022,42(1):132-139.

在协同虚拟环境下,更新区域相对来说较容易确定,不需对其进行过多分析。而订阅区域显示的是数据消费者的需求信息,每个数据消费者的需求信息均是不同的,并且表述方式也不一致,为订阅区域的确定带来了较大的困难。因此,此研究在兴趣匹配之前采用 JTangPS-D 算法自动化分解订阅信息(兴趣信息)^⑤。

设置数据消费者订阅区域为 A ,通过 RDF 图中是否存在分解视图 DV,来判定订阅区域是否能够被分解。当订阅区域 RDF 图中存在分解视图 DV,认为订阅区域能够被分解;反之,当订阅区域 RDF 图中不存在分解视图 DV,认为订阅区域不能够被分解^⑥。将分解视图 DV 中能够与订阅区域产生必要关系的 DV 整合为新的订阅区域 A_i 。重复上述过程,即可完成订阅区域的分解,将其记为 $A=\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ^⑦。分解处理后订阅区域对应的索引结构也会产生变化,具体如图 2 所示。

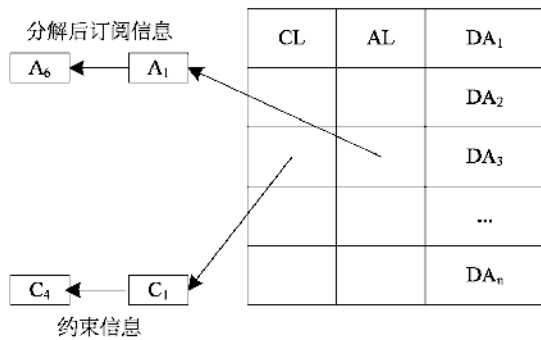


图2 订阅区域索引结构示意图

图 2 中, DA_i 表示的是订阅区域 A 的原始信息, AL 表示的是分解后的订阅信息, CL 表示的是约束信息。通过上述过程完成了协同虚拟环境概念模型的创建,并分解了订阅区域信息,为后续兴趣管理树搭建奠定坚实的基础。

1.2 兴趣管理树搭建

以上述创建的协同虚拟环境概念模型为基础,引入树结构理论搭建兴趣管理树,为并行层次兴趣匹配实现做好充足的准备^⑧。

以分解订阅信息 $A=\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 与约束信息

$\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ 为基础,设置虚拟环境维取值范围为 $[0, L]$,兴趣管理树节点为 α_j (第 i 层第 j 个节点),需要注意的是,每个节点管理一个半开区间 $[2^{-i}L_j, 2^{-i}L_{(j+1)})$,区间长度为 $2^{-i}L$ 。兴趣管理树高度为 H ,其与节点数量之间的关系为

$$M_{\alpha_j} = 2^H - 1 \quad (1)$$

式(1)中, M_{α_j} 表示的是兴趣管理树节点数量。

依据上述阐述的参数,搭建兴趣管理树,具体如图 3 所示。

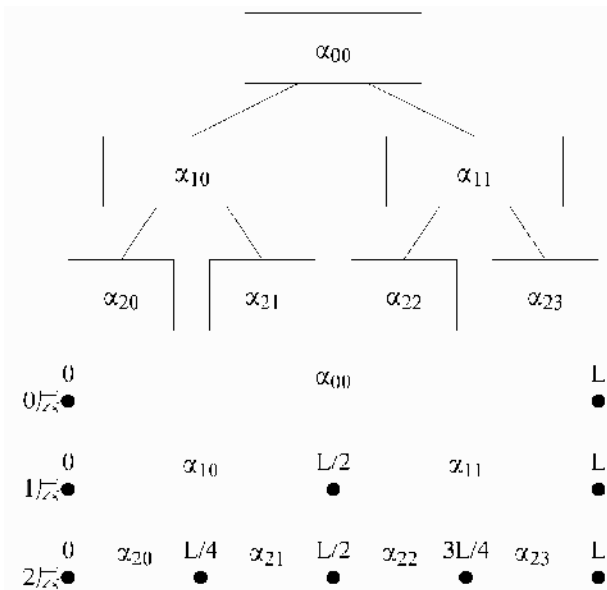


图3 兴趣管理树示意图

如图 3 所示,节点 α_j 内部安装三个数据容器,分别记为 β_1, β_2 与 β_3 。其中, β_1 键值为订阅范围下界 χ_{\min} , β_2 键值为订阅范围上界 χ_{\max} , β_3 键值为订阅区域 A ,共同承担着订阅信息的任务^⑨。

上述过程中完成了兴趣管理树的搭建,并对节点、高度、数据容器等相关信息进行了详细的介绍,为后续订阅区域映射处理提供依据。

1.3 订阅区域映射处理

以上述搭建的兴趣管理树为依据,将订阅区域映射到兴趣管理树节点 α_j ,从而形成层次化结构,为后续兴趣匹配提供便利^⑩。

在映射过程中,必须提前计算订阅区域映射

⑤ 姜海洋,李雪菲,杨晔. 基于距离比较的 AC 自动机并行匹配算法[J]. 电子与信息学报,2022,44(2):581-590.
⑥ 王傲明,李姗姗,李新星,等. 基于自适应并行扩展卡尔曼滤波的 SITAN 匹配算法[J]. 中国惯性技术学报,2022,30(1):81-88.
⑦ 贺晓霞,贾小林. 基于并行匹配的 RFID 自适应碰撞树算法[J]. 计算机工程与设计,2020,41(8):2190-2194.
⑧ 邓非,颜青松,肖腾. 多视密集匹配并行传播 GPU-PatchMatch 算法[J]. 测绘学报,2020,49(2):181-190.
⑨ 孙乔,黎雷生,赵海涛,等. SW26010 众核任务并行调度系统及其嵌套并行算法应用[J]. 软件学报,2021,32(8):2352-2364.
⑩ 贾伯岩,孙翠英,李立学,等. 基于兴趣区域匹配的输电线路双目监测系统研究[J]. 高电压技术,2020,46(10):3630-3637.

层次数量,防止超出节点管理区间长度现象的发生^①。订阅区域映射层次计算公式为

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \times A_i}{\gamma^2 \times M_{\alpha_j}} \quad (2)$$

式(2)中, δ 表示的是订阅区域映射层次; ω_i 表示的是每个订阅信息占据的长度比例; γ^2 表示的是映射层次辅助计算参量,需要根据实际情况进行具体设置,取值范围为 $[0, 1]$ ^②。

常规情况下,订阅区域与兴趣管理树节点 α_j 之间主要存在三种相交情况,具体如图4所示。

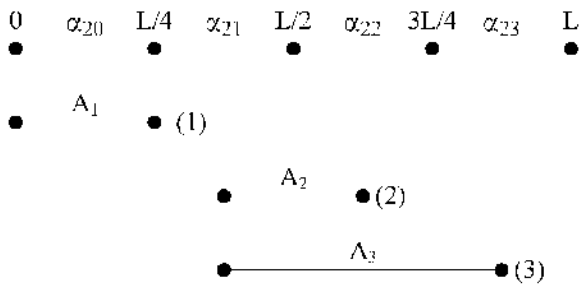


图4 订阅区域与兴趣管理树节点 α_j 相交示意图

如图4所示,订阅区域 A_1 与兴趣管理树节点 α_{20} 相交,订阅区域 A_2 与兴趣管理树节点 α_{21} 与 α_{22} 相交,订阅区域 A_3 与兴趣管理树节点 α_{21} 、 α_{22} 与 α_{23} 相交。由此可见,订阅区域与兴趣管理树节点相交类型主要是根据相交节点数量决定的^③。

需要注意的是,初始兴趣管理树层次数量为1,节点数量为1,需根据订阅区域长度对其进行扩展,两者之间关系式表示为

$$2^{-\delta} L \leq \delta \leq 2^{(\delta-1)} L \quad (3)$$

依据公式(3)数据计算订阅区域上界与下界对应的兴趣管理树节点序号,计算公式为

$$\begin{cases} \eta = \lfloor \chi_{\max} \cdot 2^{-\delta} L \rfloor \\ \eta' = \lfloor \chi_{\min} \cdot 2^{-\delta} L \rfloor \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, η 与 η' 分别表示的是订阅区域上界与下界对应的节点序号。

依据公式(4)计算结果将订阅区域相关信息存储到相应的数据容器 β_1 、 β_2 与 β_3 中,即完成了订阅区域的映射,为后续更新区域与订阅区域的匹配提供便利。

1.4 兴趣匹配并行层次化操作

以上述订阅区域映射处理结果为基础,结合LSQR并行算法,实现更新区域与订阅区域的快速匹配,提升兴趣匹配效率,为大规模协同虚拟环境的创建及其应用提供帮助。

LSQR并行算法是现今使用较为广泛的并行运算手段,具有较好的普遍适用性,能够有效提升兴趣匹配的效率。LSQR并行算法使用了Lanczos分解原理,将兴趣管理树每个层次的兴趣匹配任务进行有效分解,通过并行模式对任务进行执行。

设置更新区域为 $B=\{B_1, B_2, \dots, B_p\}$,LSQR并行算法表达式为

$$\begin{cases} A_1 \times \lambda_1 = B'_1 \\ A_2 \times \lambda_2 = B'_2 \\ \dots \\ A_n \times \lambda_n = B'_n \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中, A_1, A_2, \dots, A_n 表示的是分解后订阅区域; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 表示的是LSQR并行运算因子; B'_1, B'_2, \dots, B'_n 表示的是对应订阅需求的更新区域集合。需要注意的是,符合数据消费者订阅需求的更新区域并不只有一个,因此匹配到的更新区域结果是一个集合,而不是单一的更新区域。

另外,在兴趣匹配算法执行之前,还需要对更新区域 $B=\{B_1, B_2, \dots, B_p\}$ 进行一定的处理,以此来保障兴趣匹配的准确性,处理流程如图5所示。

在兴趣匹配过程中,首先动态加载更新区域与订阅区域,并对其进行相应的处理;其次搭建兴趣管理树;再次将订阅区域映射到兴趣管理树节点上;最后结合LSQR并行算法,实现更新区域与订阅区域的并行层次匹配^④。

上述过程实现了大规模协同虚拟环境下并行层次兴趣匹配功能,在提升兴趣匹配效率的同时,

① 陈炯,张虎.内容增强与时间匹配的兴趣点推荐方法[J].计算机工程与设计,2020,41(9):2655-2662.

② 章鸣媛,顾雅佳,肖勤,等.基于坐标匹配和子图切分定位乳腺钼靶图像的感兴趣区域[J].生物医学工程研究,2020,39(1):18-22.

③ 毛科技,汪敏豪,陈立建,等.结合目标检测与匹配修正的手腕骨感兴趣区域提取[J].中国图象图形学报,2022,27(3):973-987.

④ 林国贤,林峰,黄金魁,等.面向智能运检管理的变电站运动目标立体匹配算法研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(16):128-134.

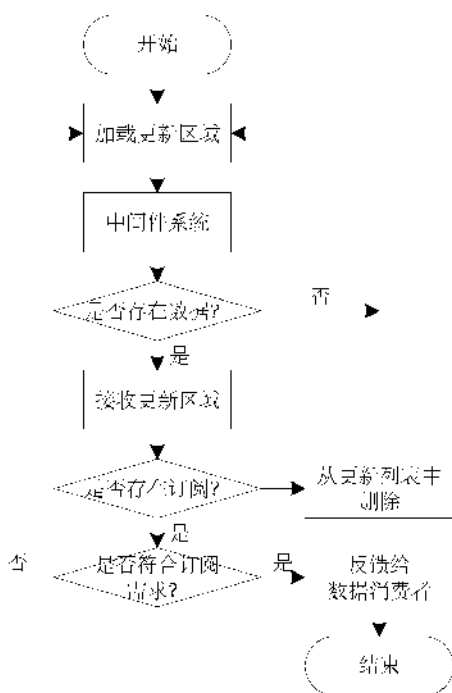


图5 更新区域处理流程图

也增加了兴趣匹配的成功指数, 为大规模协同虚拟环境的创建与发展提供有效的支撑。

2 实验与结果分析

2.1 实验工况设置

为了验证提出算法的兴趣匹配性能, 设置 10 种不同实验工况, 以此来提升实验结论的准确性。实验工况设置情况如表 1 所示。

表 1 实验工况设置表

实验工况编号	更新区域数量/个	订阅区域数量/个
1	125	50
2	264	100
3	301	150
4	420	200
5	495	250
6	508	300
7	593	350
8	624	400
9	655	450
10	798	500

如表 1 数据所示, 随着实验工况复杂性的上升, 更新区域数量与订阅区域数量也呈现逐渐上升的趋势。需要注意的是, 订阅区域数量呈现等比例增长, 而更新区域数量增长速率无规律, 符合并行层次兴趣匹配实验需求。

2.2 最小区域选择

在大规模协同虚拟环境中, 更新区域与订阅区域呈现着动态性与多样性, 包含对象种类也较多, 由于更新速率与订阅速率的不同, 两者之间区域的大小也存在着较大的差异。若是直接对更新区域与订阅区域进行应用, 会增加实验的复杂度与运算量。因此, 在实验进行之前, 需要对最小区域进行相应的选择。需要注意的是, 最小区域指的是满足更新区域与订阅区域数据呈现的最小范围, 并不是越小越好, 需要满足一定的合理性与科学性。

此研究采用空间分析法选取最小区域, 表达式为

$$Q = \zeta_0 [f(R) + f(S, T)] \quad (6)$$

式(6)中, Q 表示的是最小区域边长; ζ_0 表示的是比例常量, 需要根据协同虚拟环境相关信息进行具体设置; R 表示的是数据范围半径数值; S 表示的是区域动态速率; T 表示的是区域存在时间; $f(\cdot)$ 表示的是取值函数。

比例常量 ζ_0 主要是为了防止数据离开区域, 因此可以根据数据离开区域的程度来衡量。假设数据在空间存在既定概率 ($P=50%$) 超出设定区域, 则比例常量 ζ_0 计算公式为

$$\frac{(\zeta_0 d_{\min} - d_{\min})^3}{(\zeta_0 d_{\min})^3} = \frac{1}{2} \quad (7)$$

式(7)中, d_{\min} 表示的是数据离开区域的最小距离。

求解公式(7)获取比例常量 ζ_0 , 将其代入公式(6)即可获得最小区域边长, 确定最佳的最小区域尺寸, 为后续实验的顺利进行提供便利。

2.3 实验结果分析

以上述设置的实验工况, 选择的最小区域为基础, 进行并行层次兴趣匹配实验。为了突出提出算法的应用性能, 选取多维注意力特征聚合立体匹配算法^⑮作为对比算法, 设定兴趣匹配消耗时间

⑮ 张亚茹, 孔雅婷, 刘彬. 多维注意力特征聚合立体匹配算法[J]. 自动化学报, 2022, 48(7): 1805-1815.

与兴趣匹配成功指数为评价指标，具体实验结果分析过程如下所示：

2.3.1 兴趣匹配消耗时间分析

兴趣匹配消耗时间是指全部数据消费者需求数据(订阅区域)均得到反馈后的总时间。常规情况下,兴趣匹配消耗时间越短,表明兴趣匹配效率越高;反之,兴趣匹配消耗时间越长,表明兴趣匹配效率越低。

通过实验获得兴趣匹配消耗时间如图 6 所示。

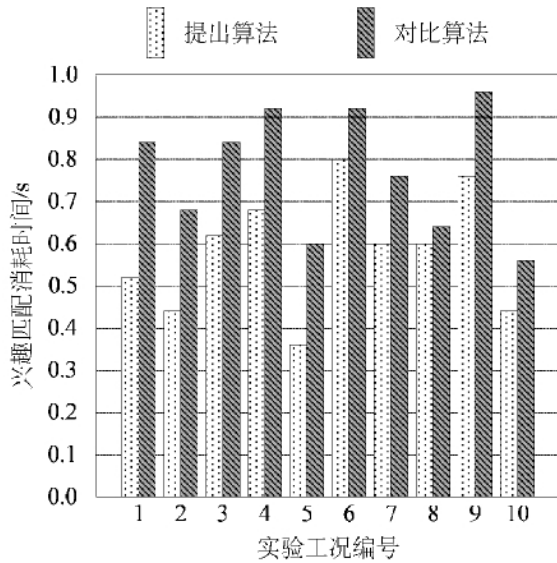


图 6 兴趣匹配消耗时间示意图

如图 6 数据所示,相较于对比算法来看,应用提出算法获得的兴趣匹配消耗时间较短,最小值达到了 0.36s,表明提出算法兴趣匹配效率更高。

2.3.2 兴趣匹配成功指数分析

兴趣匹配成功指数是指更新区域与订阅区域成功匹配任务所占的比例系数,计算公式为

$$\psi = \frac{\tau^*}{\tau_{total}} \quad (8)$$

式(8)中, ψ 表示的是兴趣匹配成功指数; τ^* 表示的是更新区域与订阅区域成功匹配任务数

量; τ_{total} 表示的是全部兴趣匹配任务数量。

通过实验获得兴趣匹配成功指数如图 7 所示。

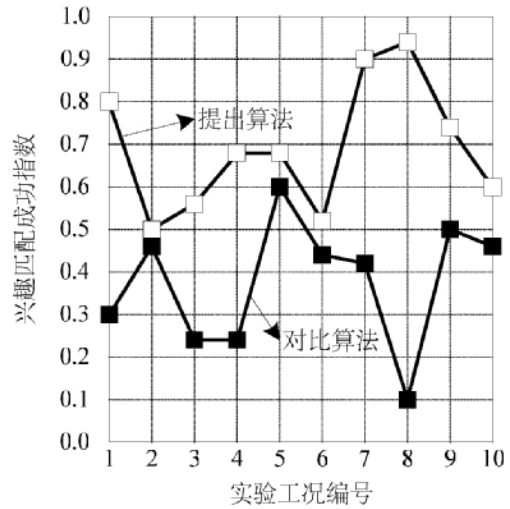


图 7 兴趣匹配成功指数示意图

如图 7 数据所示,相较于对比算法来看,应用提出算法获得的兴趣匹配成功指数更大,最大值达到了 0.94,表明提出算法兴趣匹配精度更高。

上述实验数据显示:与选取对比算法相比较,提出算法获得的兴趣匹配消耗时间更短,兴趣匹配成功指数更大,充分证实了提出算法具备较好的应用性能。

3 结语

虚拟现实技术是未来影响社会发展的关键技术之一,大规模协同虚拟环境创建是其主要应用方向,由于虚拟环境数据较多,为其通信带来了较大的困难,故提出大规模协同虚拟环境下并行层次兴趣匹配算法研究,极大地缩短了兴趣匹配消耗时间,提升了兴趣匹配成功指数,为兴趣匹配提供更有效的算法支撑,也为虚拟现实技术的发展与应用提供一定的参考。

(责任编辑:李清平)