

基于发布/订阅 VSM 中间件的设计与实现

黄俊江 杜承烈 陈进朝

(西北工业大学计算机学院, 西安 710129)

摘要 针对航空、航天分布试验与仿真系统对透明数据实时交互的需求,所设计的虚拟共享内存中间件,提高了系统的实时性。然而在负载很大的情况下,VSM 的稳定性较差。针对分布试验对 VSM 高负载下的稳定性需求,提出了一种基于发布/订阅的 VSM 中间件的改进方案,优化了网络通信,提高了 VSM 中间件在高负载下的稳定性,加强了实时性能。

关键词 发布/订阅 虚拟共享内存 中间件 分布式仿真

中图分类号 TP368.1; **文献标志码** A

当前,我国航空、航天系统的复杂程度和现代化程度的不断提高,使得其设计、研制和维护日益依赖于先进的试验、测试与仿真手段。针对航空、航天分布试验与仿真系统对透明数据交互的需求,所设计的虚拟共享内存中间件平台是基于 DSM (Distributed Shared Memory) 的设计思想和技术,为分布仿真应用中提供大量仿真数据交换的分布式中间件,提高了系统的实时性、开放性^[1]。然而在负载很大的情况下,VSM 的稳定性较差。为了适应计算机仿真领域的不断发展,满足其对实时性逐渐增强的需求,增强 VSM 高负载下的稳定性,提出了一种基于发布/订阅的 VSM 中间件改进方案。发布/订阅通信模式不仅在分布式系统中应用广泛,它在分布式实时系统中的作用也正逐渐被挖掘出来,其所表现出来的实时性,已经能够满足部分工业系统的要求^[2]。VSM 通过引入该机制,优化了网络通信,提高 VSM 中间件的实时性和稳定性。

1 虚拟共享内存中间件

1.1 VSM 设计思想

VSM 中间件是结合 DSM (Distributed Shared Memory) 技术与反射内存网络的设计思想,为分布

仿真应用中提供大量仿真数据交换的分布式中间件。VSM 中间件在以太网的基础上,为实现网络传输数据的即时更新,在每个节点上设立一个全局内存,这个内存的内容为网络上所有相关节点内容拷贝的组合,并且内存中的内容可由当前节点计算值不断地刷新或者由网络中其他节点不断地刷新,所有仿真节点的编址与寻址方式相同,实现的是逻辑上的共享内存^[3]。

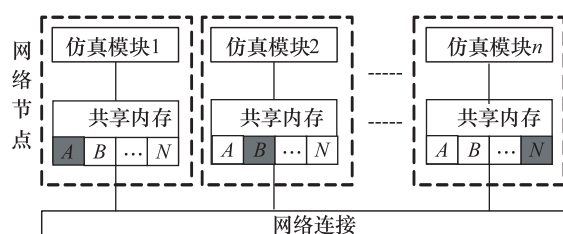


图1 VSM结构示意图

图2为VSM结构示意图,每个仿真模块中的共享内存作为网络的基本单元与通信网络相连,所有共享内存中的内容是相同的。在图2中有 n 个仿真模块,全局内存为 A 到 N 的内存块,所有仿真节点内存数据都是相同的,称为虚拟共享内存。当仿真模块1向内存 A 写数据时,将即时刷新其他仿真模块中 A 的内容,从而实现内存的共享。图中深色部分为节点所属内存,这部分数据只能由本节点写如,读操作不做限制。用户只需关心读写操作,底层数据更新由系统自动完成,从而满足仿真系统对

透明数据交互的需求。

VSM 中间件分为 3 个层次:网络接口层、系统管理层和用户接口层。网络接口层负责网络数据的传输并刷新各节点共享内存。系统管理层主要负责仿真任务调度及 VSM 共享内存的管理。用户接口层为用户提供了与内存模块交互的接口,方便用户进行读写操作。

1.2 VSM 特性

采用 VSM 中间的分布式仿真试验提供透明的数据交互,VSM 中间件使得用户测试程序不用关心网络传输,对内存的读写操作与对常规的内存读写无异,网络传输对用户而言是透明的。VSM 具有可扩展性与可移植性,由于用户接口与网络接口的剥离,当网络硬件或网络协议发生变化时,无需更改用户接口,只需扩展网络接口,这增强了 VSM 对异构网络的可扩展性和用户程序的可移植性。VSM 可以通过改变网络硬件或网络协议来满足不同性能指标的分布式测试要求。由于 VSM 设计中采用的是全局共享内存方式,不同于 DSM,每次读操作都要通过访问远程节点读取数据,这样避免了数据的多次迁移。

VSM 的这些优点使 VSM 能够为分布仿真试验提供实时透明的数据交互,但是 VSM 的设计特点同样面临一些问题。

1.2.1 高负载下的稳定性

由于 VSM 的一个节点的数据更新,会导致所有数据节点的更新。这样在一个具有 n 个仿真节点的 VSM 分布仿真试验中,更新 m 字节数据,在网络上将需要传输 $n \times m$ 个字节,造成了大量额外开销。使分布仿真试验在负载较高的情况下网络传输的稳定性难以得到保证。

1.2.2 缺乏对大数据的支持

由于 VSM 网络传输代价高,大数据传输会导致较大的数据刷新延迟,影响 VSM 系统的实时性能。

1.2.3 VSM 对总内存大小的支持

一般在几百 kB 内,只能支持一些中小型仿真系统。

VSM 的这些问题,都有一个共同的原因,就是

数据更新时,VSM 网络传输的代价太高。为了降低 VSM 网络传输代价,同时保持 VSM 实时透明的数据交互特性,引入了发布订阅机制。

2 发布订阅的 VSM 实现

2.1 发布订阅的 VSM 提出与基本原理

从 VSM 在仿真测试中的应用发现,并不是所有仿真节点对所有共享内存都有需求。比如显示节点对计算节点的数据有需求,但计算节点并不需要显示节点的数据,但根据 VSM 全局内存的设计思想,仍然会将显示节点数据更新到计算节点,造成了不必要的网络传输开销。统计发现,在传统的分布试验仿真系统中,这种不必要的网络传输开销,占总开销的比例在 33% 至 87% 之间,具体比例与仿真系统中各个仿真节点间的数据依赖关系有关。

发布/订阅通信模式实现了时间、空间和同步关系 3 个方面的完全解耦合,使得它成为现代分布式计算环境的理想选择^[4]。发布者和订阅者之间是完全透明的,它们各自并不知道对方的存在,而中间件的功能便是处理发布者与订阅者之间的生产消费关系,存储数据信息。由于它们之间的这种透明性,发布/订阅系统可以动态改变发布者和订阅者数量。这种可扩展特性使得发布/订阅通信模式能更好地适应现代大型分布式系统的要求^[5]。

在原 VSM 系统中,当某仿真节点数据更新时,将向所有节点广播。基于发布订阅系统的思想,数据更新将不再向所有节点广播,VSM 系统将根据发布订阅表,只对订阅了相关数据的节点进行数据更新。同时为了维护 VSM 的原特性,基于发布订阅的 VSM 总体设计思想是:不改变用户接口层,通过修改系统管理层与网络接口层实现发布订阅机制;系统管理层上负责管理发布订阅表,网络接口负责优化网络传输。

2.2 发布订阅的 VSM 实现

2.2.1 虚拟共享内存

为了维护 VSM 的原特性,并支持动态的数据订阅功能,在基于数据订阅的 VSM 系统中每个仿真节

点依然都具有一个全局共享内存,这个全局内存的编址方式也是相同的,但是这个内存的内容不再是网络上所有节点数据内容拷贝的组合。全局内存中只有仿真节点订阅的数据所对应的内存才有可用值,只有订阅了的数据节点才能读。

2.2.2 数据的写与发布

系统管理层管理着仿真任务调度及 VSM 共享内存,在系统管理层中,添加一个数据发布表,管理数据的发布信息。基于 VSM 仿真特性,数据发布以节点为单位,即数据的发布订阅最小单位为一个节点的所有数据,节点间订阅关系描述为:A 节点订阅 B 节点的数据(所有数据)。这样能够减少数据订阅关系,优化订阅算法,更加符合 VSM 仿真特性。数据发布表记录了数据与发布地址间的映射关系。每个节点数据对应一个发布地址,该地址为本地组播地址,范围为:239.0.0.1~239.255.255.255。组播通信解决了单点发送多点接收,在不增加带宽的情况下减少了发送方、接收方网络的负担,同时屏蔽了发送方与接收方间的关系^[6]。数据发布方只需向自己对应的组播地址组播发送数据即可,无需关心订阅方的情况。基于 VSM 仿真特性,VSM 数据发布表形成于仿真开始前,且 VSM 的数据发布是静态的,这与传统中间件的数据发布有所区别。

图2为仿真模块执行写操作的流程图,其中 WriteData 为写数据接口,DataID 为数据标识,可以为数据名、节点 IP 地址+端口、数据 ID 号等唯一表示数据的标识。

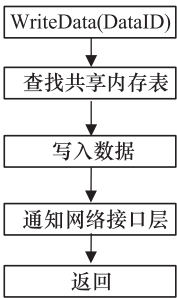


图2 写操作流程与发布线程

如图2所示,在 VSM 仿真系统执行写操作时,根据 DataID 查找系统管理层中的共享内存表,找到

对应数据在虚拟共享内存中的相对地址,从而向对应内存写入数据(此过程忽略了一些错误写操作的处理),写操作完成后通知数据发布线程对其他节点进行数据更新。

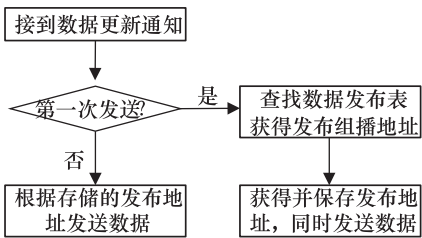


图3 发布线程处理

图3为数据发布线程,发布线程收到通知后,获得数据的发布地址,第一次将查找数据发布表,并保存在全局变量中,以后直接读取全局变量。VSM 以该组播地址发送数据。对于用户而言,写数据与普通写操作无异,数据的发送由发布线程完成,用户无需关心。

2.2.3 数据的读与订阅

基于发布订阅的 VSM 系统为用户提供了动态数据订阅接口:订阅数据(Subscribe(DataID))与取消订阅(CancelSubscribe(DataID))。

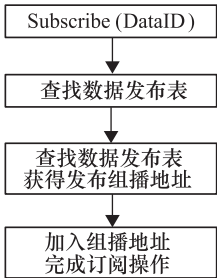


图4 订阅数据简易流程

如图4为数据订阅简易流程。当用户调用 Subscribe(DataID) 接口订阅数据时,根据 DataID 查找数据发布表获得所订阅数据的组播地址,并加入该组播地址,以后节点便可接受到该数据。VSM 系统建立了线程用来接收订阅的数据,写入共享内存中,用户无需关心,只需直接读取。

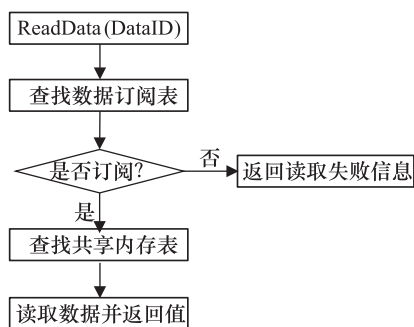


图5 数据的读操作流程

如图5为数据的读操作流程。读取数据时根据DataID查找数据订阅表。如果没有订阅该数据,为了防止读取脏数据,将直接通知用户读取失败。如果订阅了该数据,将根据共享内存表中存储的相对地址读取数据。

3 基于发布订阅的 VSM 性能分析

3.1 基于发布订阅的 VSM 保持了原 VSM 的优点

从2.2中可以看出,改进后VSM并不影响用户写操作,只是在网络传输过程中增加了一个发布表查找过程。数据的发布是固定不变的,可以在仿真开始之前完成,不影响仿真测试。数据订阅操作是由用户自由选择的,一般在下一步仿真之前完成,所以对仿真过程影响不大。数据的读操作与之前相比,也只是增加了一个订阅表查找过程,对仿真性能影响也不大。

最重要的是,基于发布订阅的VSM中间件的发布订阅功能,不涉及网络传输,不会影响VSM底层的网络通信且数据的读写操作与原VSM操作相同。

可见改进后的VSM对原VSM透明的数据交互等特性没有任何影响。原VSM的应用程序,增加调用订阅接口,便可直接移植到新VSM中。可以看出很好保持了原VSM的优点。

3.2 基于发布订阅的 VSM 性能提升

在此提出一个概念“VSM数据依赖系数”。VSM数据依赖系数用来描述VSM共享内存间数据订阅关系密集度。VSM数据依赖系数 =

$$\sum_{\text{所有数据}} (\text{数据内存大小} \times \text{该数据被订阅数}) / (\text{仿真}$$

节点数 $\times$ 虚拟共享内存大小), 以下简称为依赖系数。

从基于发布订阅的VSM设计中可以看出,将基于全共享内存的更新方式改进为基于发布订阅的内存更新方式优化VSM的网络传输。在参考文献[3]中所提到的分布式飞行仿真系统:“空间实验室综合演示验证系统”^[7]。基于该仿真模型我们对VSM系统完成一次所有虚拟共享内存更新所需时间进行测试(相当于所有节点同时进行写操作,并完成在其他节点的数据更新)。测试结果显示:在VSM数据依赖系数为10%情况下,改进后VSM系统完成一次全内存更新时间要比之前VSM系统快7倍左右。即使在依赖系数为90%的情况下,改进后的VSM系统也能与原VSM系统持平。另外在依赖系数为10%的情况下,VSM最大共享内存能够由之前的数百kB增加到10MB左右。

从上述分析可以看出,基于发布订阅的VSM改进具有以下特性:

(1) 性能提升度与依赖系数有关:依赖系数越低,意味着基于发布订阅所需更新的数据量越低,与全内存更新方式相比,效率越高。所以依赖系数越低,改进后的VSM性能的提高越大。

(2) 提高了对大数据的支持:在依赖系数为10%的情况下,VSM最大共享内存能够由之前的数百KB增加到10MB左右,这样便能支持一些大的数据传输。

(3) 静态的发布、动态的订阅:由于VSM虚拟共享内存的特性,使得数据的发布是静态的,数据的订阅是动态的,这样简化了发布订阅的处理流程。

(4) 提高了实时性能:通过优化网络传输,降低了网络通信量,增加了VSM通信的稳定性,提高了VSM的实时性能。

4 结束语

发布/订阅通信模式在通信领域占有重要的地位,它适应了计算机向实时、分布式发展的趋势。通过将发布订阅模式引入分布式仿真平台的VSM,增强了VSM通信的稳定性,提高了VSM的实时性

能,从而满足分布式仿真逐渐增强实时性需求,以适应计算机仿真领域的不断发展。

参 考 文 献

1

王 琼,杜承烈. 基于 DSM 技术的 VSM 中间件的研究与开发. 计算机应用研究, 2005;12: 201—203

2

Deng Gan, Xiong Ming, Gokhale A. Evaluating real-time publish/subscribe service integration approaches in QoS-enabled component middleware. Proc of the 10th IEEE International Symposium on Object-oriented Real-time Distributed Computing. Santorini Island, Greece; [s. n.], 2007

3

黄姝娟,杜承烈,尤 涛. 中间件技术实时性能的比较. 计算机工程, 2009;35(11):32—37

4

Eugster P, Felber P, Guerraoui R. The many faces of publish/subscribe. ACM Computing Survey,2003;35(2):114—131

5

刘旭军,马 跃,于 东. 发布/订阅通信模式的实时性能分析与评估. 计算机工程, 2010;36(20): 229—231

6

(美)斯蒂文斯. TCP/IP 详解,卷 1:协议. 范建华,等译. 北京:机械工业出版社,2000

7

伍智锋,唐 硕,杜承烈. 基于共享内存机制的分布式飞行仿真研究. 计算机仿真,2002;6(19):18—21

Design and Implementation of VSM Middleware Base on Publish/Subscribe

HUANG Jun-jiang, DU Cheng-lie, CHEN Jin-chao

(School of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, P. R. China)

[**Abstract**] The VSM (Virtual Share Memory) middleware, which is design for satisfying the demand of transparent real-time data interactive in aerospace distributed simulation test system, improve the real-time performance in distributed simulation system. But the stability of VSM in high payload is not satisfactory. Aiming to the demand of high stability in high payload of distributed simulation using VSM middleware, the scheme of VSM middleware base on publish/Subscribe is proposed. Through optimized the network transmission, the stability and real-time performance is improved by the VSM base on publish/subscribe in high payload.

[**Key words**] publish/subscribe VSM middleware distributed simulation

(上接第 8205 页)

The Walsh Spectrum of an APN Power Function and Its Application

XIA Yong-bo, ZHANG Yu

(School of Mathematics and Statistics, South-Central University For Nationalities, Wuhan 430074, P. R. China)

[**Abstract**] Let $n \geq 3$ be an odd positive integer and $d = (3^n + 1)/4 + (3^n - 1)/2$. Then, the power function x^d is an APN function over finite field F_{3^n} . The Walsh spectrum of this APN function is not determined up to now. The Walsh spectrum of x^d is calculated and an application of this result is given.

[**Key words**] APN function Walsh spectrum exponential sum finite fields