

分布式仿真系统通信故障检测和恢复研究

杜志强, 黄海于

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 611756)

摘要:为解决耦合分布式仿真系统在仿真过程中因通信链路中断、通信阻塞等原因造成的执行机同耦合器之间通信中断或数据丢包的问题,设计并实现了在执行机端进行的通信故障检测算法以及在执行机和耦合器相互协同下的通信故障恢复算法。通过将执行机和耦合器之间的通信故障检测从耦合器端移到执行机端进行,减少了耦合器进行通信故障检测和恢复的负担,降低了通信故障检测的执行频率并且使得通信故障检测时间间隔可以依据具体的仿真工况确定,避免了在耦合器端进行通信故障检测时必须选取所有计算模块中最大计算时间间隔作为故障检测间隔的缺点,在保证耦合分布式仿真系统通信稳定性和可靠性的同时,增加了执行机和耦合器之间进行通信故障检测和恢复的灵活性。

关键词:耦合器;执行机;定时器;通信故障

中图分类号:TP302

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)11-0172-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.11.034

Research on Communication Failure Detection and Recovery for Distributed Simulation System

DU Zhi-qiang, HUANG Hai-yu

(College of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University,
Chengdu 611756, China)

Abstract: Because of broken of communication link or blocking of communication in simulating process for coupled distributed simulation system, lead to data transferring communication interruption or data loss between execute machine and coupler. To solve the problem, design and implement the communication failure detection algorithm for the execute machine and the communication failure recovery algorithm for the cooperation between execute machine and coupler. The ways of communication failure detection between execute machine and coupler is carried out from coupler side to execute machine side, reducing the load of communication failure detection and recovery on coupler and the execution efficiency of communication failure detection, and the maximum time interval of communication failure detection can be determined according to the specific simulation conditions. The disadvantage that the maximum computation time interval of all the computation modules must be selected as the communication failure detection time interval is avoided. The stability and reliability of the distributed simulation system are ensured and the flexibility of communication failure detection and communication recovery is improved.

Key words: coupler; execute machine; timer; communication failure

0 引言

高速列车耦合大系统动力学仿真平台^[1-4]旨在为与高速列车相关的车辆、线路、弓网和牵引供电等专业的耦合计算模型提供统一的仿真计算平台。该平台采用分布式仿真^[5-9]结构实现了使用分布在不同地理位置的异构资源进行耦合仿真计算的需求,其中耦合器子系统^[10]的引入使得仿真平台中以调度器—耦合

器—执行机组成的3层体系结构具有良好的系统稳定性和扩展性^[2],整个仿真平台得以灵活的组织 and 部署。

由于使用UDP协议传输数据与使用TCP协议相比具有传输效率高、占用系统资源少^[11-12]的优点,仿真平台中分布在不同地理位置异构资源上的各子系统节点和计算资源节点间采用UDP协议进行数据和命令交互。但由于UDP并不提供连接管理、确认和重传

收稿日期:2015-03-09

修回日期:2015-06-10

网络出版时间:2015-11-04

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划(2009BAG12A01-A01)

作者简介:杜志强(1988-),男,硕士研究生,研究方向为高速列车耦合大系统动力学仿真平台、分布式计算;黄海于,副教授,研究方向为软件无线电、游戏开发与设计、云计算。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20151104.0953.092.html>

等功能^[13],因此在仿真平台中必须提供故障检测机制来确保命令和数据传输的稳定性和可靠性。

文献[1]在耦合器中采用定时中断的方式监测仿真平台中的通信状况,在耦合器端进行的通信故障检测和恢复算法虽然能够保证仿真的稳定性和可靠性,但在该耦合分布式仿真系统中耦合器节点需要负责多个不同组合模式下的工况仿真工作,将通信故障检测放在耦合器端进行降低了仿真平台中通信故障检测和恢复的灵活性。基于此,文中提出了在执行机端进行通信故障检测的算法,并设计了执行机和耦合器相互协同工作的通信恢复算法。针对工况的特点配置通信故障检测时间间隔进行通信故障检测和恢复,保证了高速列车耦合大系统动力学仿真平台中耦合器和计算节点间通信的稳定性和可靠性。

1 基于耦合器的通信故障检测算法

文献[1]中在耦合器节点进行的通信故障检测主要是通过耦合器内部的定时检测策略实现。在耦合器中设置一个定时器定时检测仿真工况中各个计算模块当前仿真步数与历史仿真步数的关系^[14],通过判断计算模块在固定时长范围内耦合计算步数是否推进,来判断通信故障是否发生。当通信故障发生时,根据耦合关系逆邻接表中顶点域节点与其逆邻接域中节点的步数关系定位通信故障,然后依据其故障原因进行相应的故障恢复。

在耦合器节点进行通信故障检测的优点是可以对故障进行准确定位,依据不同的故障类型有针对性地对故障进行处理,但此种通信故障检测方法在固定时间范围内必定会触发定时中断来比较和保存各计算模块的步数信息。然而在实际局域网环境仿真计算过程中通信丢包率和通信中断率非常小,耦合器绝大部分通信故障定时检测都是没有必要的资源开销,而且由于耦合器进行通信故障检测的时间间隔一旦确定在运行过程中不可更改,难以满足不同工况对通信故障检测和恢复的要求。

2 基于执行机的通信故障检测算法

在高速列车耦合大系统动力学仿真平台中,耦合器是整个大系统仿真平台中数据和命令交互的中心,各执行机通过网络与耦合器交互命令和数据来完成专业模块间的耦合计算。耦合器和执行机之间的工作流^[1]如图 1 所示。

通过 workflow 图可以分析出执行机同耦合器之间的通信故障共有四种情况:

(1) 执行机向耦合器发送的仿真计算结果数据丢失;

(2) 耦合器向执行机通告的已准备好的仿真步数数据丢失;

(3) 执行机向耦合器发送的请求下一步仿真数据的命令丢失;

(4) 耦合器下发给执行机的下一步仿真所需输入数据丢失。

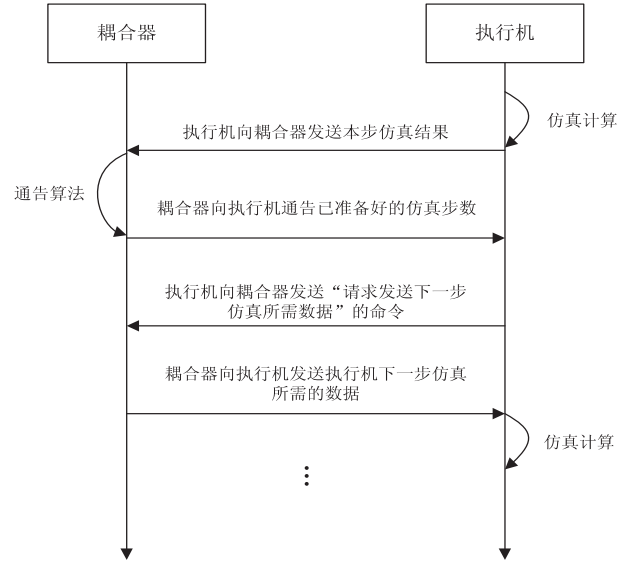


图 1 耦合器和执行机之间的通信数据工作流

2.1 故障分析

如图 2 所示,假设有三个计算模块 A、B、C 参与耦合计算,计算模块之间的输入输出关系如图 3 所示。

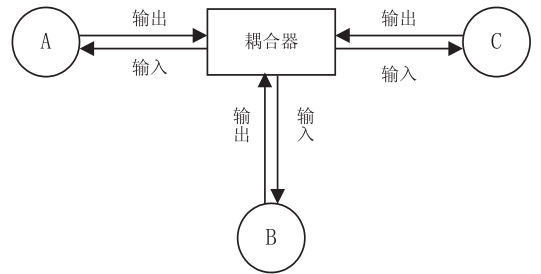


图 2 执行机和耦合器的数据交互关系

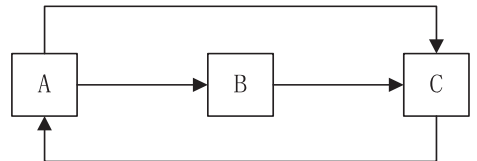


图 3 参与计算模块的输入输出关系图

计算模块 A 的输出给计算模块 B 和 C,计算模块 B 的输出给计算模块 C,计算模块 C 的输出给计算模块 A。计算模块输出的数据都是由相应的执行机发送给耦合器,然后耦合器根据计算模块间的耦合关系和执行机的要求,将与某个计算模块相对应的输入数据发送给相应的执行机。执行机的状态转换图如图 4 所示。

(1) 通信故障 1: 执行机的仿真结果没有成功发送给耦合器。

若执行机 A 向耦合器发送第 n 步仿真输出数据时出现通信故障,该步仿真结果丢失,而执行机 B 和 C 与耦合器之间通信正常,因此执行机 B 和 C 都会因为缺少执行机 A 的第 n 步输出数据作为第 $n+1$ 步仿真输入而无法进行第 $n+1$ 步计算。但执行机 A 能够获得执行机 C 的第 n 步输出作为输入进行第 $n+1$ 步计算。最终耦合器会接收到执行机 A 发送的第 $n+1$ 步数据、执行机 B 发送的第 n 步数据和执行机 C 发送的第 n 步数据,但没有接收到执行机 A 的第 n 步数据。

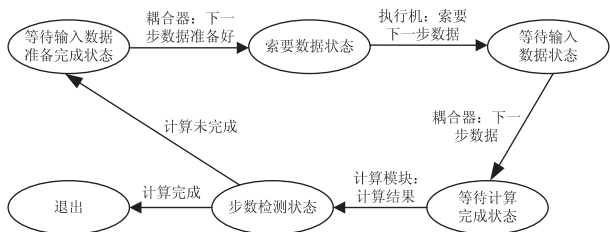


图4 执行机状态转换图

(2) 通信故障 2: 执行机没有接收到耦合器发送的步数通告信息。

耦合器在接收到任意一个执行机发送的某步仿真结果后会遍历任务之间的耦合关系图(用逆邻接表表示),通过对比顶点域中执行机的输出步数信息和逆邻接域中执行机的步数信息,判断顶点域中的执行机能进行仿真的步数并通告给相应的执行机。如果耦合器向执行机下发步数通告信息时出现通信故障,如果在该执行机通信正常后还有其他执行机向耦合器发送数据,耦合器的通告信息就还能成功地下发到该执行机,此时不会出现仿真中止的问题。但如果在该执行机通信故障时间范围内所有其他执行机都完成了仿真输出结果的发送工作,则该执行机在通信正常后将得不到耦合器下发的仿真数据准备好的信息。

(3) 通信故障 3: 耦合器没有接收到执行机请求下一步数据的命令。

如果执行机在向耦合器发送请求下一步仿真数据的命令时出现通信故障,则耦合器将接收不到执行机对数据的请求,进而执行机将得不到所请求的输入数据,而此时由于执行机已经向耦合器发送过请求数据命令,因此执行机会一直处于等待输入数据状态造成仿真中断。

(4) 通信故障 4: 耦合器下发给执行机的下一步仿真所需输入数据丢失。

耦合器在接收到执行机发送的请求数据命令后会组织并发送数据,如果在耦合器向执行机下发仿真输入数据时出现通信故障,则执行机将得不到所请求的仿真输入数据,会同通信故障 3 一样,该执行机将一直处于等待输入数据状态而造成仿真中断。

(5) 耦合器节点网络中断的情况: 耦合器与执行

机之间的所有通信信息中断。

当耦合器节点出现网络故障,耦合器在一定时间内同所有的执行机节点都无法进行数据和命令交互,通信中断时,执行机最终会由于缺少耦合器通告的可进行的仿真步数信息或者缺少耦合器下发的下一步仿真所需输入数据而处于等待输入数据准备完成状态或等待输入数据状态,极端的故障情况是所有的执行机都处于上述的某一种状态中。而此种故障都可以分解为前四种故障问题,只要耦合器节点的网络故障能够恢复,处理前四种通信故障的方法就能使耦合器和执行机之间重新恢复通信,继续进行仿真。

2.2 故障处理

(1) 根据 2.1 节的故障分析,对于通信故障 1 而言,当执行机长期处于等待输入数据状态并且耦合器准备好的步数 s 与当前仿真步数 n 满足 $s > n+1$ 时,应主动向耦合器索要第 $n+1$ 步输入数据(该第 $n+1$ 步输入数据是由所有向该执行机提供输入数据的执行机的第 n 步输出数据组成),当耦合器在接收到执行机发送的索要某步数据但耦合器仿真结果表中没有该步输入数据或者该步输入数据不完整时,耦合器应该要求相应的未提供该步数据的执行机重新发送该步数据。执行机接收到耦合器索要数据的命令后,应重新发送该步仿真数据。

(2) 对故障 2 而言,只要能够重新触发耦合器的通告算法就可以重新建立通信连接,因此当执行机长期处于等待输入数据准备完成状态时,可以主动向耦合器重新发送当前的仿真结果来触发耦合器的通告算法,使耦合器重新检测逆邻接表中各执行机的步数信息,通告各执行机已准备好的步数信息来恢复通信状态。

(3) 对故障 3 和故障 4 中的情况,执行机得不到耦合器下发的下一步仿真数据,可通过设置定时时钟,当定时时间到达但仍然没有接收到耦合器的数据时,可向耦合器重新发送索要下一步仿真数据的命令,这样无论通信故障是执行机向耦合器索要下一步数据的命令丢失还是耦合器向执行机下发的下一步仿真数据丢失都可以被恢复。

(4) 当通信故障是耦合器节点通信中断时,所有的执行机都会最终处于等待输入数据状态或等待输入数据准备完成状态,在执行机端只需根据当前所处的状态采用前三种故障处理方法进行故障处理。

根据以上故障分析,在执行机端的通信故障可简化为两种:

(1) 耦合器通告的可以进行仿真的步数不大于当前仿真步数,即在执行机中不满足索要下一步仿真输入数据的条件,执行机始终处于等待输入数据准备完

成状态。

(2) 执行机没有接收到耦合器下发的下一步输入数据, 始终处于等待输入数据状态。

所以在执行机端进行的通信故障检测与定位只需针对上述两种情况来处理, 在执行机中设置两个监测量来分别监测耦合器准备好的数据的步数信息和是否接收到耦合器下发的下一步仿真数据, 即可进行故障定位。执行机端的通信故障检测流程如图 5 所示。

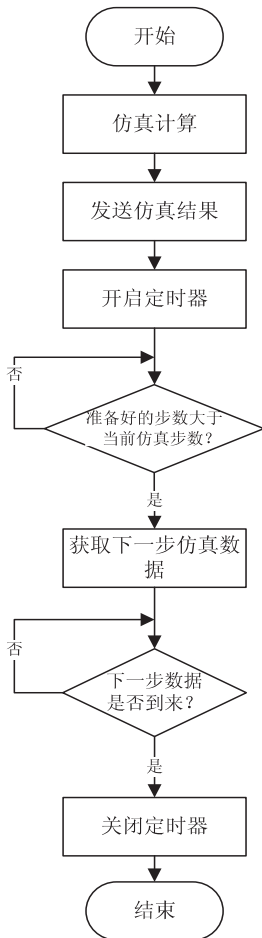


图 5 执行机通信故障检测流程图

执行机在向耦合器发送完仿真结果后开启通信故障检测定时器, 等待耦合器下发的已准备好的仿真步数信息。当耦合器下发的已准备好的输入数据步数大于当前仿真步数时向耦合器发送索要下一步仿真数据的命令, 在接收到耦合器下发的下一步仿真数据后交由计算模块进行仿真计算。在定时时间间隔内如果没有完成执行机和耦合器之间的命令和数据交互才会触发定时器, 进行故障处理; 如果完成了上述交互过程则关闭定时器, 这样在通信正常的情况下就不会触发故障处理机制, 就不会产生额外的资源开销。

在执行机工作流程中, 只要判断出耦合器准备好的仿真输入步数能满足执行机向耦合器索要下一步仿真输入数据的要求时, 就进入索要数据状态向耦合器索要下一步仿真输入数据, 耦合器在组织数据时如果

该步数据没有或者不完整就向相应的执行机索要数据, 在接收到被索要数据的执行机重新发送的数据后再组织数据发送给索要数据的执行机。在处理没有接收到耦合器下发的输入数据准备好的命令的故障时, 考虑到虽然执行发送某步仿真结果失败但与其有输入关系的执行机通信正常, 此时该执行机仍能进行下一步仿真计算的情况(如故障分析(1)中执行机 A 完成了第 $n+1$ 步输出数据的发送但第 n 步输出数据丢失), 在处理故障时主动发送当前仿真结果和上一步仿真结果, 以简化耦合器向执行机索要数据的过程。执行机通信故障处理流程图如图 6 所示。

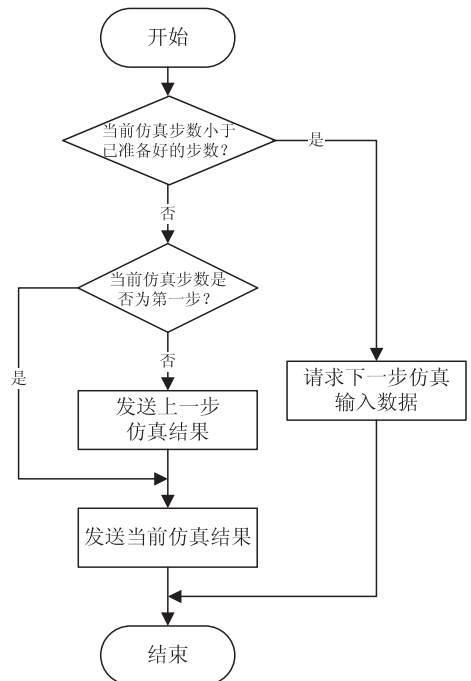


图 6 执行机通信故障处理流程图

对没有接收到耦合器下发的有效步数通告信息的故障采用如下方法处理: 检测当前仿真步数是否为第一步, 如果是, 则将第一步的仿真结果发送给耦合器, 如果不是, 则发送当前仿真结果和上一步仿真结果给耦合器。耦合器在接收到数据之后触发通告算法遍历耦合关系逆邻接表, 确定执行机可以进行仿真的步数, 并通告给相应的执行机。

如果执行机中当前仿真步数小于已准备好的仿真步数仍然触发了定时器中断, 则此类情况就是执行机没有接收到耦合器下发的下一步数据, 通过向耦合器重新索要下一步数据来处理该故障。

3 验证结果与分析

为验证在执行机端进行通信故障检测算法的有效性, 文中构建了如下仿真环境: 参与仿真的计算模块为车辆、线路和弓网模块。耦合关系为: 车辆→线路、车辆→弓网、线路→车辆、弓网→车辆。测试工况计算的

仿真用时情况,仿真用时结果如表 1 所示。

表 1 仿真用时 s

步数(万步)	文献[1]算法	文中算法
10	2 327	2 240
15	3 485	3 357
20	4 643	4 474
25	5 802	5 592
30	6 970	6 708
35	8 143	7 833
40	9 316	8 956
45	10 484	10 077
50	11 654	11 198

根据仿真结果可知,将通信故障检测和恢复由在耦合器端实现改为在执行机端实现可以节约通信故障检测的时间,提高仿真计算速度。在执行机端进行的通信故障检测和恢复可以根据工况的运行特点,有针对性地选择进行故障检测的时间间隔,提高了单个工况在仿真过程中进行通信故障检测和恢复的灵活性。

4 结束语

该设计在执行机端实现了执行机与耦合器之间通信故障的检测和恢复,减少了耦合器进行通信故障检测和恢复的资源开销,并且在保证了耦合分布式仿真系统通信稳定性和可靠性的同时,增加了执行机和耦合器之间进行通信故障检测和恢复的灵活性。

参考文献:

[1] 杨岩岩,黄海于. 分布式仿真系统耦合器通信故障的检测

(上接第 171 页)

- [3] 陆 婧. 基于 Femtocell 双层网络高效的频谱分配技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2013.
- [4] 张 宝,邱 玲. OFDMA Femtocell 网络中混合接入方式下的资源分配策略[J]. 电子与信息学报,2011,33(11):2569-2574.
- [5] 苏 涛. 基于 Femtocell 双层网络的能量高效的功率优化技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2013.
- [6] Claussen H, Ho L, Samuel L. Self-optimization of coverage for Femtocell deployments[C]//Proceedings of wireless telecommunications symposium. [s. l.]:[s. n.],2008:278-285.
- [7] Kang X, Liang Y C, Nallanathan A, et al. Optimal power allocation for fading channels in cognitive radio networks:ergodic capacity and outage capacity[J]. IEEE Trans on Wireless Communication,2009,8(2):940-950.
- [8] 刘志新,李 亮,马 镛,等. 基于非合作博弈的 femtocell 双层网络分布式功率控制[J]. 控制与决策,2014,29(4):

与恢复[J]. 计算机技术与发展,2013,23(10):204-207.

- [2] 张卫华. 高速列车耦合大系统动力学理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2013:144-151.
- [3] 万春阳,黄海于. 分布式仿真系统的数据监控软件的实现[J]. 计算机技术与发展,2013,23(9):14-17.
- [4] 向 鹏,黄海于. 耦合分布式仿真中任务调度的研究与实现[J]. 计算机技术与发展,2013,23(12):78-81.
- [5] D' Angelo G, Marzolla M. New trends in parallel and distributed simulation:from many-cores to cloud computing[J]. Simulation Modelling Practice and Theory,2014,49:320-335.
- [6] 郭奇胜,徐享忠. 计算机仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2011:208-243.
- [7] Fujimoto R M. Parallel and distributed simulation[C]//Proceedings of the 1999 winter simulation conference. [s. l.]:ACM,1999:122-131.
- [8] Fujimoto R M. Parallel simulation:parallel and distributed simulation systems[C]//Proceedings of the 2001 Winter simulation conference. [s. l.]:IEEE Computer Society,2001:147-157.
- [9] Fujimoto R M. Distributed simulation systems[C]//Proceedings of the 2003 Winter simulation conference. [s. l.]:IEEE,2003:124-134.
- [10] 张 宇,黄海于. 耦合分布式系统多线程任务管理算法[J]. 成都大学学报:自然科学版,2012,31(3):251-253.
- [11] 尹丽萍,毛 征,尹志新,等. 分布式半实物仿真平台的网络设计[J]. 系统仿真学报,2008,20(24):6862-6865.
- [12] 孙海民. 精通 Windows Sockets 网络开发:基于 Visual C++ 实现[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [13] 唐文超. Visual C++网络编程[M]. 北京:清华大学出版社,2013.
- [14] 杨岩岩. 分布式耦合仿真系统故障的分析与研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.
- 639-644.
- [9] Kang X, Zhang R, Motani M. Price-based resource allocation for spectrum-sharing Femtocell networks: a stackelberg game approach[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2012,30(3):538-549.
- [10] 贾明华. CDMA 系统上行链路中基于博弈论的功率控制算法[D]. 合肥:安徽大学,2005.
- [11] Cisco. Cisco Femtocell solution[EB/OL]. 2010. <http://www.cisco.com/>.
- [12] 郑成铨. Femtocell 双层网络中上行链路功率控制方法的研究[D]. 南京:南京邮电大学,2013.
- [13] Kiani S G, Gesbert D. Optimal and distributed scheduling for multicell capacity maximization[J]. IEEE Trans on Wireless Communications,2008,7(1):288-297.
- [14] Li Peng, Zhu Yu. Power control of Femtocell networks based on Stackelberg game[C]//Proc of IEEE international conference. [s. l.]:IEEE,2012:535-540.

分布式仿真系统通信故障检测和恢复研究

作者: [杜志强](#), [黄海于](#), [DU Zhi-qiang](#), [HUANG Hai-yu](#)
作者单位: [西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都, 611756](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2015, 25(11)

引用本文格式: [杜志强](#), [黄海于](#), [DU Zhi-qiang](#), [HUANG Hai-yu](#) [分布式仿真系统通信故障检测和恢复研究](#)[期刊论文]

-[计算机技术与发展](#) 2015(11)