

文章编号:1671-1637(2013)04-0108-08

UML-HLA 协同建模方法及其在多车仿真中的应用

上官伟^{1,2}, 刘朋慧¹, 蔡伯根¹, 邵泳哲¹

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044; 2. 北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044)

摘要:针对复杂实时大系统分布式交互性特点,通过综合对比 UML 与 HLA 的特点,提出了基于 UML-HLA 的列控系统建模仿真方法。在传统建模方法的基础上,采用提出的 UML-HLA 建模方法,从多个不同的角度建立多车仿真系统的分析模型,包括用例建模、活动建模、结构建模、交互建模和状态建模等,构建起高层体系架构资源库。在分析模型的基础上,建立多车仿真系统体系结构,得到多车仿真系统的设计模型。从性能和功能上对多车仿真系统进行了仿真验证。仿真结果表明:基于 UML-HLA 的建模方法具有较强的可交互性和可操作性,通过对原有线程机制与定时器控制机制进行优化,采用线程管理机制将原有系统的 CPU 占有率由 50% 降低至 15% 以下,定时器误差控制在 0.02 ms 范围内,满足了列控系统的仿真要求。

关键词:列控系统;多车仿真;统一建模语言;高层体系架构;分布式交互仿真

中图分类号:U283.2

文献标志码:A

UML-HLA collaborative modeling method and its application in multi-train simulation system

SHANGGUAN Wei^{1,2}, LIU Peng-hui¹, CAI Bai-gen¹, SHAO Yong-zhe¹

(1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Aimed at the distributed and interactive properties of complex real-time large system, through a comprehensive comparison of unified modeling language (UML) and high level architecture (HLA) features, a modeling and simulating method of train control system was proposed based on high level architecture with unified modeling language (UML-HLA). On the basis of traditional modeling method, an analysis model of multi-train simulation system was constructed from different perspectives by using UML-HLA modeling method. The model consisted of use case modeling, activity modeling, structural modeling, interactive modeling and state-based modeling, and the high level architecture resource library was constructed. Based on the analysis model, a multi-train simulation system structure was established, and a design model of multi-train simulation system was obtained finally. The functions and performances of multi-train simulation system were validated. Simulation result shows that the modeling method based on UML-HLA has strong interactivity and maneuverability. With the optimization of original thread management mechanism and timer control mechanism, the CPU occupancy of original system reduces from 50% to below 15% by using thread management method, the timer error in

收稿日期:2013-02-09

基金项目:国家 863 计划项目(2011AA110405);国家自然科学基金项目(61104162);铁道部科技研究开发计划项目(Z2012-076);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013JBM007);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20120009110029)

作者简介:上官伟(1979-),男,陕西乾县人,北京交通大学副教授,工学博士,从事列车控制研究。

the system is below 0.02 ms, and the simulation requirement of train control system is satisfied.

1 tab, 10 figs, 16 refs.

Key words: train control system; multi-train simulation; unified modeling language; high level architecture; distributed interactive simulation

Author resume: SHANGGUAN Wei (1979-), male, associate professor, PhD, +86-10-51687111, wshg@bjtu.edu.cn.

0 引言

高速铁路列车运行控制系统是一种功能复杂的大系统,进行系统功能仿真测试是系统投入运营前的必备环节,仿真测试具有现场测试所无法比拟的优势,因此,基于仿真的系统功能测试方法,针对高速铁路列车运行控制系统的功能测试需求,建立仿真支撑环境以支持系统的全面、高效、可重复测试很有必要。目前,国内外学者已经开展了对列车运行控制系统仿真方法的研究。在基于统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)建模的仿真方面,国外针对基于 UML 形式化建模方法的研究已卓有成效^[1-3]。国内方面,王帅等运用 UML 对基于场景的中国列车控制系统 CTCS-3 (Chinese Train Control System-3)建模方法进行了研究^[4];王悉等利用 UML 及其工具对模型进行需求分析,建立了适用于人机界面静态与动态模型的各种视图,并对人机界面予以编程实现,验证了方法的可行性^[5];韩胤等探讨了利用 UML 建立 CTCS-3 级无线闭塞中心的优缺点,验证了统一 UML 建模的高效性特点^[6];卢衍丹等采用面向对象的方法对列车自动驾驶仿真系统建模^[7];邵维忠等分析了 UML 的用途,重点论述了可视化建模系统中的模型一致性检查机制^[8]。在基于高层体系结构(High Level Architecture, HLA)方面,上官伟等基于列控系统的需求研究了多车仿真系统,设计了基于 HLA 的列控系统多车仿真方案,得到了一种合理的多车仿真策略^[9]。在对列控系统的仿真方面,郭宁等基于轨道电路和应答器对 CTCS-2 级列车运行控制系统进行了仿真实现,为进一步研究列车运行控制系统提供了有效的试验环境和方法^[10]。以上研究为开发列车运行控制系统的仿真系统奠定了良好的基础,但是对列车运行控制系统的仿真局限于单机层面,缺乏良好的可重用性与互操作性,特别是针对先进的分布式交互仿真理论和方法、高可信度列车运行控制系统仿真平台等研究领域,迫切需要开展深入研究。

本文依托基于 HLA 的 CTCS-3 级列车运行控

制系统仿真平台,提出一种基于 UML-HLA (High Level Architecture with Unified Modeling Language) 的建模分析方法,以 CTCS-3 级列车运行控制系统需求规范为基础,通过从多个角度建立系统模型,建立 HLA 资源库。在建模过程中,采用面向对象体系结构和分层体系结构的方法,建立多车建模仿真系统的结构。最后予以编码实现,对基于 UML-HLA 的列控系统仿真理论及方法从性能与功能上进行了验证。

1 UML-HLA 建模方法

HLA 的提出提高了仿真系统中各组件的可重用性和互操作性,其最重要的 2 个特点就是支持基于组件对象的仿真应用开发模式和具备仿真功能与通用的支撑系统相分离的体系结构^[11]。HLA 为用户提供了一个具有开放性、灵活性和适应性的体系结构,支持用户分布、协同地开发复杂仿真应用系统,降低了系统的开发成本,缩短了开发周期,目前已在多个领域成功应用,但存在诸如建模标准化程度低、自动化程度低、无统一标准化的描述语言等问题。

UML 具备统一的标准,能够独立于过程,采用图的方式进行系统建模,从多种角度描述系统特性,并详细说明各建模元素,具有可视化和表现力强大等特点。

1.1 基于 UML-HLA 的仿真建模方法

将基于 UML 的组件技术应用到 HLA,可在不改变 HLA 建模方法的基础上,改善其缺点。UML 结合基于组件的体系结构,将业务逻辑与软件支撑环境分离,建立与平台无关的模型。在方法学的基础上,联邦开发执行过程(Federation Development and Execution Process, FEDEP)模型的开发过程与面向对象的开发过程基本保持一致,都遵循软件生命周期模型:需求流、分析流、设计流、实现流、测试流的开发流程。将 UML 应用到 FEDEP 开发过程,结合 HLA 技术可得到基于 UML-HLA 的仿真系统开发方法。

1.2 UML-HLA 仿真系统的开发过程

基于 UML-HLA 的仿真系统开发依次包括需求流、分析流、设计流、实现流、测试流 5 个阶段。联邦需求阶段包括定义联邦目标和开发联邦概念模型 2 个步骤。在联邦成员应用程序的开发过程中,采用面向对象的方法建立统一的对象模板模型。联邦需求获取的过程见图 1。

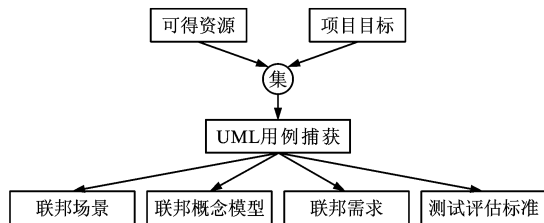


图 1 联邦需求获取过程

Fig. 1 Acquisition process of federal requirements

联邦分析阶段有 2 个目标:从联邦需求(上一个工作流)的角度来看,联邦分析的目的是得到对需求的更深入理解;从联邦设计和实现的角度来看,联邦分析的目的是按设计和实现易于维护的思路来描述需求。在分析流中,由联邦需求阶段产生的用例变更为用类图描述的用例。以数据流表示的联邦分析见图 2。

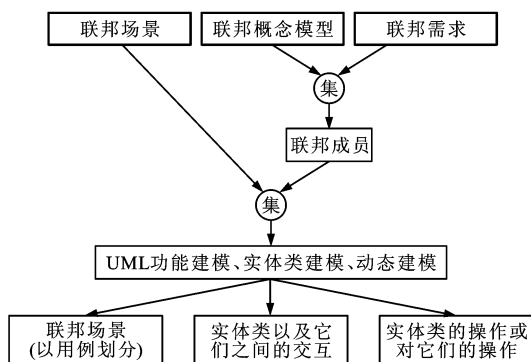


图 2 联邦分析数据流

Fig. 2 Data flow of federal analysis

联邦设计阶段是联邦分析的延伸与扩展,具有良好的跟踪性、可修改性和可扩展性特点。联邦设计的主要任务是扩展和细化分析阶段的模型。遵循

的原则为模块化、抽象、信息隐藏、弱耦合、强内聚以及可重用性。按照联邦问题域子系统设计、联邦人机交互子系统设计、联邦数据管理子系统设计以及联邦任务管理子系统设计的模式各个击破进行联邦设计,使用可扩展的联邦成员架构,通过组合具有可重用和互操作能力的仿真模型组件来设计功能可定制、大小可伸缩的联邦成员^[12],然后再集成为一个完整的系统。联邦设计最终生成的成果包括联邦类图、联邦详细设计文档以及联邦开发计划文档,具体的设计流程见图 3。

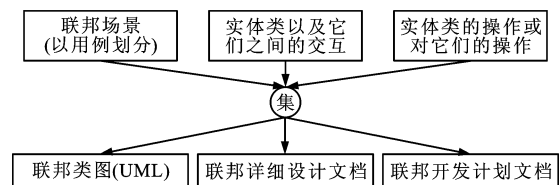


图 3 联邦设计流程

Fig. 3 Federal design flow

联邦实现与联邦测试为最后 2 个阶段,联邦实现的目标是选择一个实现语言来实现联邦软件产品。为提高系统的可重用性,在进行编码实现之前需开发出系统的联邦模型,开发系统模型的工作可在已有系统的基础上进行改造。开发联邦模型的具体过程见图 4。

联邦实现阶段的输入输出见图 5。联邦集成融入到联邦实现阶段,是联邦实现阶段的一个环节。联邦集成将所有的联邦成员集成到一个统一的开发环境中,建立统一的平台,确保所有的联邦对象之间都能进行正确的数据交换,将各个联邦对象集成为一个联邦系统。联邦测试是在联邦运行前评定联邦的互联状况,并确定联邦运行所需的支持信息,如完善测试、安全性能测试等。联邦测试贯穿于基于 UML-HLA 的软件开发过程中,联邦分析、联邦设计和联邦实现都需要进行大量的测试,联邦测试作为动态测试过程,是一个不断反复、叠加的测试过程^[13],是基于集成后的联邦系统的功能和性能的测试。

通过上述 5 个步骤将 UML 应用于基于 HLA

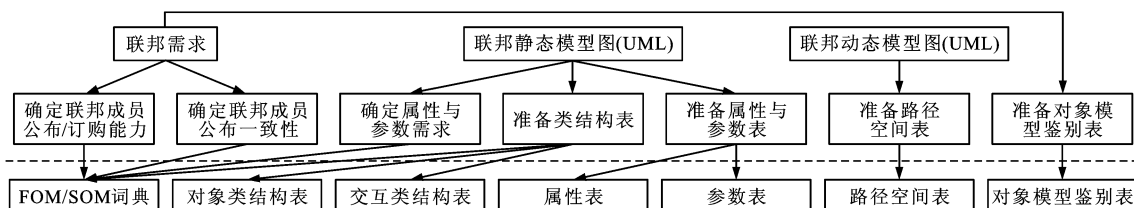


图 4 对象模型模板组件

Fig. 4 Components of object model template

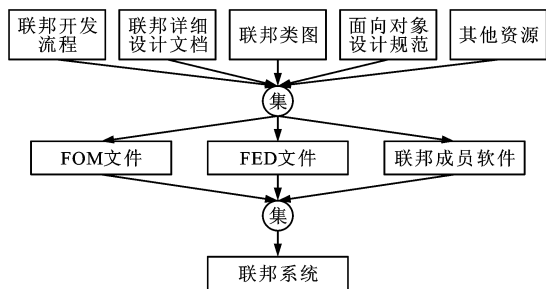


图5 联邦实现的输入输出

Fig.5 Input and output of federal implementation

的仿真系统的开发过程中,说明了基于 UML-HLA 协同建模方法的可行性,该方法不仅可以保证系统的互操作性和可重用性,也可以降低仿真系统开发的难度和复杂度,提高开发效率,延长仿真系统的生命周期,降低系统的维护和操作成本。

2 列控系统多车仿真建模方法

鉴于多车仿真系统可对模拟列控系统进行仿真,本文以列控仿真中的多车建模仿真为例,对列控系统仿真建模进行分析。

2.1 多角度建模

基于 UML-HLA 的多车仿真系统可从用例建模、活动建模、结构建模、交互建模和状态建模等角度进行分析与建模,以确保系统功能的准确性。

2.1.1 用例建模

用例模型是主要的 UML 示例,也是行为建模的焦点。行为建模表示系统的动态视图,是对功能性的需求建模。采用用例图来分析仿真系统需求,借鉴软件调度模型的建立方法^[14],从用户的角度描述系统的功能。运用 UML 通过用例建模可详细描述仿真系统分层模型中的各个对象从类结构与关系、对象之间的交互。用例图中,参与者和系统进行交互,多车仿真系统的参与者由司机、无线闭塞中心、仿真管理器、轨旁设备、定时器以及动车组构成。用例定义主题所提供的行为,不需要引用主题的内部结构,用例包括数据显示、启动与注销列车、数据记录、列车定位、监督速度、自动过分相等。

2.1.2 活动建模

活动模型表示行为,由独特的元素组成,描述了能够顺序执行的步骤和能够并行执行的步骤。活动图显示计算的步骤,将活动的执行步骤称为动作。在一个活动内,动作不能被进一步分解。活动图描述了哪些步骤可以顺序执行,哪些步骤可以并行执行。通过 workflow 进行活动建模,将 workflow 系统的执

行描述变为时间转变和数据转变 2 个交替进行的过程,以时间转变描述时间的前进,数据转变修改工作流程案例的状态^[15]。对于多车仿真来说,任务开始前,车载设备可能有以下 3 种情况:车载设备被唤醒、调车作业结束以及任务结束。在任务开始流程的开始阶段,需要的数据可能处于以下 3 种状态:有效、无效、未知。

2.1.3 结构建模

结构视图为系统的静态视图,表示数据结构、数据关系以及作用在这些数据上的操作。静态建模的主要可视化技术是类图,类图是主要的结构图。类图主要有 3 个层次:概念类图、说明类图与实现类图。在分析阶段主要关注的是概念类图和说明类图,实现类图在设计阶段进行阐述。为了获取用例中隐藏的实体类,需要用到分析模型,将用例场景分解为边界(操作界面和展示界面)、控制(业务逻辑)以及实体(业务数据)。在注册与启动用例所涉及的实体类中,注册与启动用例场景实现的主要负责人包括司机、车载设备以及无线闭塞中心,司机与车载设备数据的交互需要人机显示界面(Driver Machine Interface, DMI)管理类来实现,注册与启动实例本身需要一个类来实现。通过分析多车仿真系统所有用例涉及的场景,可得到图 1 中的实体类。

表1 多车仿真系统实体类

Tab.1 Entity class of multi-train simulation system

多车仿真系统实体类	说明
Train_Manage	列车管理类
Single_Train	单车类
EVC	车载安全计算机类
Register_Manage	任务开始管理类
Level_Manage	等级转换类
Mode_Manage	模式转换管理类
Quit_Manage	注销列车类
RBC_Change	RBC 切换类
Speed_Ctr	速度防护类
Train_Location_Ctr	列车定位类
Brake_Train	制动列车类
Drag_Train	牵引列车类
Info_Record	数据记录类
DMI	人机界面管理类
Message_Manage	消息管理类
Info_Recive	数据接收管理类
Info_Send	数据发送管理类
Info_Parser	消息解析类

2.1.4 交互建模

交互建模捕获对象间的交互,这些对象之间通过信息交换执行用例或用例的一部分。顺序图和通信图为 2 种交互图,描述了对对象间完成工作的交互过程。顺序图按时间顺序描述对象之间的消息交换,通信图则强调消息交换时对象间的关系。顺序图与通信图均为简答的交互图,可为用例模型提供详细说明,交互模型细化了场景的细节。

2.1.5 状态建模

状态建模说明类中状态的变化情况。通过状态机捕获类的生命历史,在其生存期内,对象始终保持唯一性,然而它的状态是变化的。车载设备作为仿真系统的一个类,将状态机图附加到车载安全计算机类上时,状态机图可决定车载安全计算机类的对象对事件的响应。在任务开始流程中,车载设备有空闲与激活 2 种状态,其中激活状态为多状态复合状态,其子状态为车载设备与无线闭塞中心(Radio Block Center, RBC)未建立安全链接状态、车载设备与 RBC 建立安全链接状态、车载设备处于调车模式状态、车载设备处于越行状态、车载设备无列车数据状态、车载设备无行车许可状态、车载设备处于目视行车状态、车载设备处于完全监控状态以及车载设备处于引导模式状态,可在车载设备的控制下对这些状态进行转换。

2.2 HLA 资源库

仿真资源库是仿真环境的核心。通过对多车仿真系统进行用例、活动、结构、交互和状态建模,完成对多车仿真系统的需求捕获和分析,从而生成系统的分析类,进一步建立多车仿真子系统的 HLA 资源库。在建模阶段,通过解读和分析用例,提取用例中存在的场景,通过对场景进行静态与动态分析,挖掘系统功能,最终得到系统分析模型。从用例中提取场景,形成丰富的场景库,保存在 HLA 资源库中,在后续的设计阶段会不断丰富场景库。最后通过从 HLA 资源库中存储的多车仿真系统的场景,引导列控仿真系统模拟运行场景。

3 多车仿真与 UML-HLA 建模方法应用

欧洲铁路控制系统(Europe Train Control System, ETCS)规范和 CTCS 规范均将列车运行控制系统主要分成 3 个子系统:车载子系统(包括安全计算机、输入输出系统、测速定位和无线通信模块、人-机接口等)、地面子系统(包括轨道电路、应答器、列控中心等)以及车-地信息传输子系统。

3.1 多车仿真系统在列控仿真平台中的作用

列车运行控制系统服务于铁路运输,需要与其他系统,如列车、机车乘务员、维护管理中心、联锁系统、调度集中系统等,相互作用共同完成运输任务。列控系统仿真平台的任务即为从上述 3 个子系统对系统进行功能上的验证和测试,鉴于车载设备在列控系统中具有举足轻重的作用,建立高效合理的车载设备仿真平台不仅能够对列控系统整体的仿真平台提供技术支持,还可对整个系统的运行测试提供案例与条件。本文构建的列控系统仿真平台,结合列控系统的主要组成,主要包含无线通信网络(GSM for Railways, GSM-R)、联锁模块、列车控制中心(Train Control Center, TCC)、轨旁设备、无线闭塞中心(Radio Block Center, RBC)、调度集中系统(Central Train Control, CTC)、临时限速服务器以及车载子系统等。以 HLA 作为搭建列车运行控制系统仿真平台的标准,为列控系统建模提供灵活的功能接口和接口规范。列控系统具体结构见图 6,图中每个元素内部均含有微机、元素模型及其元素内部接口部分。

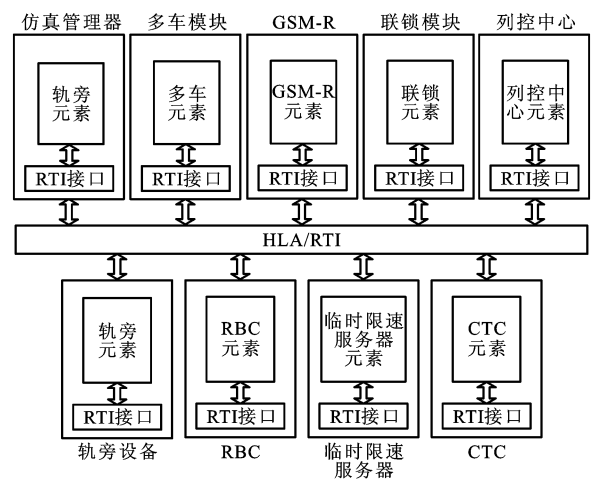


图 6 基于 HLA/RTI 的列控系统

Fig. 6 Train control system based on HLA/RTI

多车仿真平台作为列控系统仿真平台的一部分,集成了列车运行控制系统中车载设备的所有功能,还具备手动和自动驾驶,支持故障序列运行,支持场景的批量仿真,线路数据验证和灵活增减列车与信息显示界面等功能。可将上述 3 个方面的车载设备的功能特性有效结合起来,组合为 1 个整体的测试环境,增强系统的互通互联性,解决单方面测试的系统局限性缺陷,为系统的多设备、多功能全面测试与仿真提供技术支撑。在分析 CTCS-3 级列控系统技术条件、系统需求规范的

基础上,建立高效合理的多车仿真平台,可为车载设备的研究提供一个与生产现场较为相似的仿真测试环境,同时也可列为列控系统的其他仿真部件提供其功能测试的条件,为列控系统仿真平台的构建打下良好的基础。列车运行控制系统是功能复杂的分布式实时大系统,对系统的可重用性、互操作性以及通信的高效性要求比较高。根据上文的分析,采用 UML-HLA 协同建模方法对列控系统多车仿真平台进行设计与实现,可充分融合 UML 和 HLA 两种建模方法的优势,在保证仿真平台的互操作性与重用性的同时,提高系统建模的效率和可行性。

为验证基于 UML-HLA 协同建模仿真方法在列控系统中建模仿真的可行性,以多车建模仿真为例进行分析。列车运行控制系统是功能复杂的分布式实时系统,根据列车运行控制系统的需求规范与验证方法^[16],合理的设计并实现列车运行仿真、终端操作以及显示等功能。多车仿真系统模拟运行场景见图 7,以武广高铁线路中的韶关西站与英德西站为基础,进行模拟。韶关西车站下行正线发车,英德西车站正线接车,其中韶关西站含有 6 条股道及若干道岔,英德西站含有 4 条股道及若干道岔,运行过程中无临时限速。

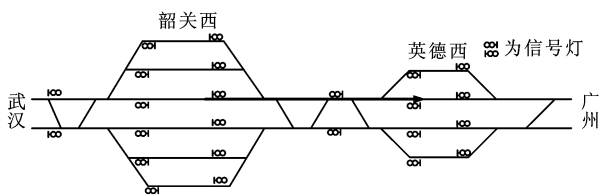


图7 仿真实景

Fig. 7 Simulation scenario

3.2 多车仿真系统的实现

根据 UML-HLA 建模仿真方法与建模方式,在实现过程中,确立合理的实现方法,多车仿真系统确立的实现机制有线程管理机制与时间管理机制。

3.2.1 线程管理机制

多车仿真系统中每一辆列车是一个相对独立的单元,列车与列车之间没有直接的数据交互。根据建模阶段确定的 2 种线程管理机制,线程管理机制 1 中,每辆车分配一个独立的线程进行管理,由系统进行线程的调度和管理;线程管理机制 2 中,启用工作者线程,只分配一个线程,然后进行循环的管理方式。根据设计原则,在实现时须采取管理方式高效的线程管理机制,即每辆车分配一个独立的线程进行管理。

3.2.2 时间管理机制

多车仿真系统集成了列控系统车载设备的功能,车载安全计算机是一个实时控制系统,因此为确保其控制精度,必须保证精确定时。本文仿真系统采用 VC6.0 作为实现语言,采用定时管理机制为误差偏移量比较小的基于 QPF(Query Performance Frequency)函数与 QPC(Query Performance Counter)函数的定时器。

3.2.3 实现机制的性能比较

根据上文分析,可对基于 UML-HLA 的建模仿真方法分别进行性能比对。以实现 20 辆列车的运行仿真为例对 2 种线程管理机制进行对比,结果见图 8。可以看出:在线程管理机制 2 下,随着数据量的增加,多车仿真系统 CPU 占有率均稳定在 50% 左右;线程管理机制 1 下,随着数据量的增加,多车仿真系统 CPU 占有率在 15% 上下浮动,明显低于线程管理机制 2 下的系统 CPU 占有率。在传输相同数据量的前提下,线程管理机制 1 的系统 CPU 占有率在原有基础上明显降低 60%。

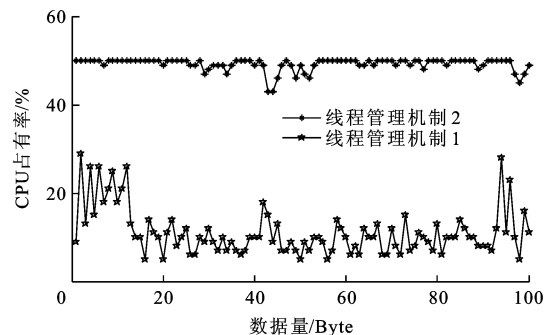


图8 CPU 占用率对比

Fig. 8 Comparison of CPU utilizations

系统对比了操作系统常用的 4 种定时器管理机制,包括基于 WM_TIMER 消息的定时器、基于 get Tick Count 函数的定时器、多媒体定时器、基于 QPF 函数和基于 QPC 函数的定时器。多种定时器下的时间偏移量对比见图 9,图中数据量在 100 Byte 范围内变化,周期为 50 ms。可以看出:基于 WM_TIMER 消息的定时器函数误差为 12.5 ms;基于 get Tick Count 函数的定时器误差为 4~12 ms;多媒体定时器的定时偏差为 3.5 ms;基于 QPF 和 QPC 函数的定时器误差偏移量最小,时间偏差稳定在 0.015 ms 以下,能够达到较高的精度,足以满足车载安全计算机的实时控制要求。

3.3 效能评价与前景分析

车载设备在列控系统仿真中具有举足轻重的作用,多车仿真系统平台能够将列控系统的车载设备

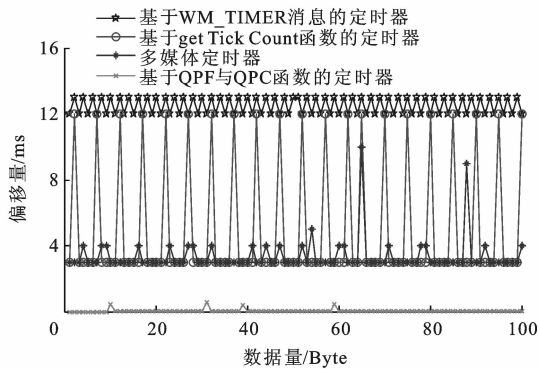


图9 定时器误差对比

Fig. 9 Comparison of timer errors

集成到一个仿真平台下进行相关的性能测试和功能验证,提高了系统仿真的可信度,对列控系统仿真平台的合理性构建具有重要意义。UML-HLA 协同建模方法设计完成的多车仿真系统实现了车载设备所应具有的全部功能,具备仿真界面友好的特点,设计实现的多车仿真系统仿真效果见图 10。



图10 多车仿真效果

Fig. 10 Effect of multi-train simulation

采用基于 UML-HLA 的设计方法,同时采用合理的线程管理机制(每辆车分配一个独立的线程)和恰当的定时函数(采用定时误差较小的定时函数),实现的列控多车仿真系统具有列车控制系统仿真平台的全部功能,提高了系统仿真的可信度。该方法能够利用 UML 语言描述列控系统多车仿真平台,确认列控系统各个联邦的行为与功能,使得建模过程具体化。同时,结合 HLA 技术建立起列控系统多车仿真的核心框架,确立列控系统仿真联邦成员间的交互程度,从整体上确立仿真平台的结构,优化系统设计。最后用 UML 语言完成联邦成员内部的设计与实现。在编码实现的过程中,通过采用独特

的线程管理方式和偏移量较小的定时函数得到了可重用的软件框架,低 CPU 占用率的列车管理机制,验证了基于 UML-HLA 的协同建模方法对列控系统多车仿真进行建模的有效性,较好地满足了列控仿真系统的分布性与实时性仿真需求。

由实现的多车仿真系统可以得出:UML-HLA 协同建模方法完成的多车仿真系统设计,使得多车建模的程序标准化,实现了将车载设备功能逻辑与仿真平台支撑环境的分离,能够建立与多车系统仿真平台相对独立的仿真模型,在保证多车仿真联邦互操作性和可重用性的同时,降低了系统开发难度和复杂度,提高了开发效率,延长了列控系统仿真的生命周期,在降低仿真平台的维护性和操作成本方面成效显著。本文研究证实了 UML-HLA 协同建模作为仿真领域的一种新方法,在对诸如列控系统实时复杂的大系统建模具有一定的借鉴作用。

4 结 语

列控仿真系统是高新技术集中的复杂分布式实时大系统,多车仿真系统作为列控仿真系统的重要组成部分,其对系统的实时性、可重用性及互操作性等要求较高。本文针对其特点,提出了一种基于 UML-HLA 的协同建模仿真方法,有效融合了 UML 与 HLA 两种建模方法的优势,并以列控仿真系统中的多车建模为例,从用例建模、活动建模、结构建模、交互建模以及状态建模 5 个角度对多车仿真进行建模分析。通过多角度分析与建模,以一个具体的仿真场景为例,编码实现了多车仿真系统,验证了基于 UML-HLA 的列控系统建模仿真方法的合理性。同时,基于该方法设计的多车仿真系统提高了仿真的透明性与可信度,达到了预期的效果。采用 UML-HLA 协同建模方法对列控多车系统进行的仿真建模可以满足其仿真要求,并具备有效降低其技术风险的能力。

在仿真过程中采用 UML 描述的多车仿真系统模型与 HLA 对象模型模板的转换目前仍然是手动进行的,因此,下一步可考虑将二者之间的转化设计为自动方式,以便进一步优化建模过程。

参考文献:

References:

- [1] MA Zong-min, ZHANG Fu, YAN Li, et al. Representing and reasoning on fuzzy UML models: a description logic approach[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(3): 2536-2549.

- [2] LEES M, LOGAN B, THEODOROPOULOS G. Distributed simulation of agent-based systems with HLA [J]. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, 2007, 17(3): 1-25.
- [3] DISTEFANO S, SCARPA M, PULIAFITO A. From UML to Petri nets; the PCM-based methodology[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2011, 37(1): 65-79.
- [4] 王 帅, 吉吟东, 杨士元. 一种基于场景的 CTCS-3 列车控制系统建模方法研究[J]. 铁道学报, 2011, 33(9): 55-61.
WANG Shuai, JI Yin-dong, YANG Shi-yuan. A kind of modeling method for CTCS-3 based on operation scenario[J]. Journal of the China Railway Society, 2011, 33(9): 55-61. (in Chinese)
- [5] 王 悉, 唐 涛. 基于 UML 的列控系统车载人机界面设计和实现[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 338-342, 361.
WANG Xi, TANG Tao. Design and realization of train operation control system onboard MMI based on UML[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 338-342, 361. (in Chinese)
- [6] 韩 胤, 张 勇. CTCS3 级仿真系统中无线闭塞中心的仿真[J]. 铁路计算机应用, 2007, 16(3): 43-45.
HAN Yin, ZHANG Yong. Computer simulation of radio block center in CTCS level 3[J]. Railway Computer Application, 2007, 16(3): 43-45. (in Chinese)
- [7] 卢衍丹, 唐 涛. 面向对象的列车自动驾驶仿真系统建模[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(1): 8-10.
LU Yan-dan, TANG Tao. Object-oriented modeling of automatic train operation simulation system [J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(1): 8-10. (in Chinese)
- [8] 邵维忠, 蒋严冰, 麻志毅. UML 现存的问题和发展道路[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(4): 509-516.
SHAO Wei-zhong, JIANG Yan-bing, MA Zhi-yi. The present problems and roadmap of UML [J]. Journal of Computer Research and Development, 2003, 40(4): 509-516. (in Chinese)
- [9] 上官伟, 蔡伯根, 刘振国, 等. 基于 HLA 的列控系统多车仿真策略研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(8): 57-63.
SHANGGUAN Wei, CAI Bai-gen, LIU Zhen-guo, et al. Research of HLA-based simulation strategy for multi-train simulation of train control system [J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(8): 57-63. (in Chinese)
- [10] 郭 宁, 杨 巍, 吴 亮. CTCS2 级列车运行控制系统超速防护仿真研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2007, 5(4): 122-126.
- GUO Ning, YANG Wei, WU Liang. Simulation of the automatic train protection based on Chinese train control system-2 [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2007, 5(4): 122-126. (in Chinese)
- [11] 张宇宏, 胡亚海, 彭晓源, 等. 基于 HLA 的防空导弹武器系统仿真平台研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2003, 29(1): 1-4.
ZHANG Yu-hong, HU Ya-hai, PENG Xiao-yuan, et al. Simulation platform based on HLA for air defense missile weapon system [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003, 29(1): 1-4. (in Chinese)
- [12] 黄 健, 冯润明, 黄柯棣. HLA 联邦运行管理的分析与设计[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(5): 83-86.
HUANG Jian, FENG Run-ming, HUANG Ke-di. Analysis and design on the runtime management of HLA federation [J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22(5): 83-86. (in Chinese)
- [13] 宋恒杰, 杨 明, 王子才. 基于高级体系结构的联邦集成测试平台的研究[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(4): 32-36.
SONG Heng-jie, YANG Ming, WANG Zi-cai. Research on federation integrated test platform based on HLA [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 28(4): 32-36. (in Chinese)
- [14] 王宏刚, 张一军, 张 琦, 等. 基于 UML 的列车运行调度系统软件模型[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(5): 107-111.
WANG Hong-gang, ZHANG Yi-jun, ZHANG Qi, et al. UML based software model of train traffic control system [J]. China Railway Science, 2005, 26(5): 107-111. (in Chinese)
- [15] 赵志崑, 盛秋骥, 史忠植. UML 活动图描述工作流模型的执行语义[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(2): 300-307.
ZHAO Zhi-kun, SHENG Qiu-jian, SHI Zhong-zhi. An execution semantics of UML activity view for workflow modeling [J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(2): 300-307. (in Chinese)
- [16] 刘金涛, 唐 涛, 徐天华, 等. 基于 UML 的 CTCS-3 级列控系统需求规范形式化验证方法[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(3): 93-99.
LIU Jin-tao, TANG Tao, XU Tian-hua, et al. Formal verification of CTCS-3 system requirements specification based UML model [J]. China Railway Science, 2011, 32(3): 93-99. (in Chinese)