

文章编号:1671-251X(2017)01-0048-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.01.012

崔晶,栾宝伟,任来红,等.综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台设计[J].工矿自动化,2017,43(1):48-52.

综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台设计

崔晶¹, 栾宝伟², 任来红³, 逯振国¹, 杨延超¹

(1. 山东科技大学 机械电子工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 中车四方车辆有限公司, 山东 青岛 266111;
3. 同方股份有限公司, 北京 100083)

摘要:针对传统单领域仿真平台难以满足综采工作面复杂装备大规模协同仿真需求的问题,基于HLA技术设计了一种综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台。介绍了该平台总体架构,重点阐述了平台中软硬件仿真模型相应的MATLAB适配器、ADAMS适配器、PLC适配器和数据采集卡适配器的开发过程。以综采工作面“三机”协同控制系统为例进行了平台功能测试,结果表明该平台可实现各异构模型间的数据交互仿真。

关键词:综采工作面; 复杂装备; 嵌入式协同仿真; HLA; 适配器

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2016-12-30 10:26

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20161230.1026.012.html>

Design of embedded collaborative simulation platform for complex equipment on fully-mechanized coal mining face

CUI Jing¹, LUAN Baowei², REN Laihong³, LU Zhenguo¹, YANG Yanchao¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. CRRC Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, China;
3. Tongfang Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: In view of problem that traditional single-domain simulation platform cannot meet requirement of large-scale collaborative simulation of complex equipment on fully-mechanized coal mining face, an embedded collaborative simulation platform for complex equipment on fully-mechanized coal mining face was designed based on HLA technology. Overall architecture of the platform was introduced, and development processes of MATLAB adapter, ADAMS adapter, PLC adapter and adapter of data acquisition card for software and hardware simulation models of the platform were expounded. Function of the platform was tested by taking collaborative control system of three machines on fully-mechanized coal mining face as an example. The test results show that the platform can realize data interactive simulation among heterogeneous models.

Key words: fully-mechanized coal mining face; complex equipment; embedded collaborative simulation; HLA; adapter

0 引言

综采工作面装备是典型的复杂装备,包含采煤

机、刮板输送机、液压支架等^[1-2],涉及机械、液压、控制等多学科,同时具有功能、算法、控制复杂,规模大,分布式的特点。

收稿日期:2016-10-12;修回日期:2016-11-24;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51375282,51406106);长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT1266);山东省自然科学基金资助项目(ZR2014EEM021);山东省自主创新专项项目(2013CXB40203)。

作者简介:崔晶(1991-),女,山东栖霞人,硕士研究生,研究方向为机电一体化系统设计,E-mail:kittyjj10@163.com。

系统仿真可以建立实际设备的软硬件模型,采用专业学科软件进行科学分析,得出准确结果,是实现工业设备智能化的关键。而对于综采工作面复杂装备,传统的单领域仿真平台越来越难以满足其大规模协同仿真需求^[3]。

高层次体系结构(High Level Architecture, HLA)是建模与仿真领域的国际标准,为复杂系统建模与仿真提供了公共的技术支撑框架,其采用联邦和联邦成员的架构将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层通信传输分离,使各部门可以独立开发相关模型,并实现联邦成员间的互操作和重用^[4-6]。鉴此,本文应用 HLA 技术设计了综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台,为实现综采工作面装备智能化提供决策依据。

1 平台体系结构

综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台体系结构如图 1 所示。

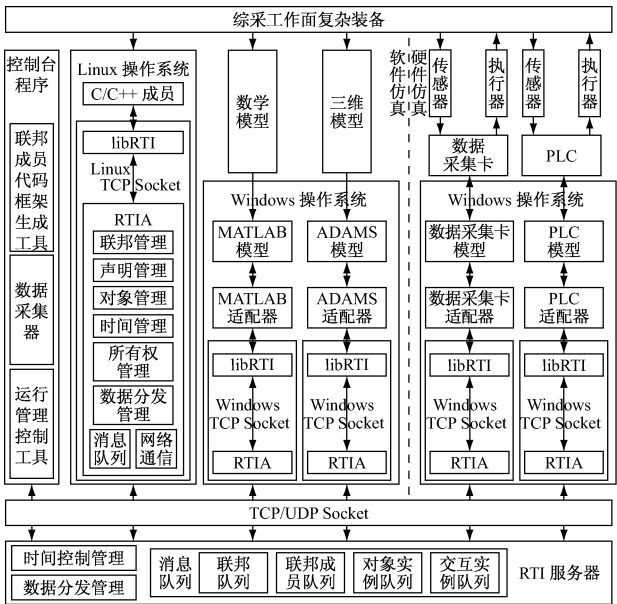


图 1 综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台体系结构

综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台包括仿真模型和支撑环境两大部分。仿真模型分为软件仿真模型和硬件仿真模型。其中软件仿真模型为描述复杂装备的各学科异构模型,如综采工作面 ADAMS 运动学和动力学模型、采煤机 MATLAB 控制模型、液压支架 MATLAB 液压模型等;硬件仿真模型为复杂装备运行数据采集和控制器模型,主要包括数据采集控制器和相关传感器、控制执行器等,如综采工作面环境数据采集卡模型、采煤机数据采集与控制 PLC 模型、液压支架数据采集与控制

PLC 模型等。支撑环境包括运行支撑环境 RTI (Run-Time Infrastructure)、针对各仿真模型的适配器及控制台程序。其中 RTI 是符合 HLA 标准的运行支撑环境,包括 HLA 接口 libRTI、进程大使 RTIA 及 RTI 服务器等^[7-8];适配器与各仿真模型相匹配,包括 MATLAB 适配器、ADAMS 适配器、数据采集卡适配器、PLC 适配器等;控制台程序为平台运行管理工具集,实现代码生成、数据采集、运行管理等功能。

平台仿真建模阶段,首先根据综采工作面复杂装备仿真需求进行合理的传感器和执行器设备选型,为设备仿真提供实时数据和控制执行条件。然后根据设备数学模型建立相应 MATLAB 模型,根据三维模型建立相应 ADAMS 模型,根据数据采集和控制需求建立相应 PLC 模型和数据采集卡模型。整体建模完成后,利用联邦成员代码框架生成工具产生各联邦成员的交互仿真需求框架,然后利用各模型适配器实现各仿真模型间基于 RTI 的数据映射,从而完成嵌入式协同仿真建模。

平台仿真运行阶段,数据采集卡和 PLC 等硬件控制器实时采集综采工作面复杂装备运行数据,并将数据输入相应硬件仿真模型。各硬件仿真模型相应的适配器通过 HLA 接口 libRTI,采用 TCP Socket 的方式同本地 RTI 进程大使 RTIA 通信。RTIA 包含联邦管理、声明管理、对象管理、时间管理、所有权管理、数据分发管理六大服务,对各模型(联邦成员)在整个平台(联邦)内的行为进行管理,并通过 TCP/UDP 协议将数据传输至 RTI 服务器。RTI 服务器负责联邦运行全局性消息队列管理、全局时间控制管理和数据分发管理等全局性服务。RTI 服务器寻址订购数据的软件仿真模型,通过网络传递将数据传递给 RTIA,再经过软件适配器传递给相应软件仿真模型。各软件仿真模型根据数据实时仿真综采工作面复杂装备运行情况,并将仿真结果以同样的方式通过 RTI 传送至硬件仿真模型控制器,为其通过执行器驱动相应设备提供科学参考数据。同时,控制台程序提供联邦创建、联邦运行、RTI 终止等管理功能,并实时监视联邦运行的各类数据信息,以备故障诊断或数据后处理。

2 平台关键技术

开发相应模型适配器,兼容各软硬件异构学科模型,将各学科专业软件应用于综采工作面复杂装备实时运行过程中,是实现嵌入式协同仿真的关键

技术。结合综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台需求,开发了 MATLAB 适配器、ADAMS 适配器 2 款软件适配器、PLC 适配器、数据采集卡适配器 2 款硬件适配器。

2.1 MATLAB 适配器

MATLAB 适配器在技术实现上采用 SIMULINK 的 S-Function 编程接口^[9-10]。采用 C++ 编程,将所有与 HLA 进行信息交互的功能封装成一个基于 S-Function 的 MATLAB 模型,以动态链接库的形式存在于 MATLAB 模型库中。将 MATLAB 模型改造成基于 HLA 的协同仿真联邦成员时,只要将 MATLAB 模型的各输出端口连接到 RTI 接口模块的输入端口,再将 RTI 接口模块的输出端口连接到 MATLAB 模型的各输入端口即可。RTI 接口模块在内部调用 RTI 服务,将输入端口得到的数据发送给联邦,并将从联邦得到的数据从输出端口传送给 MATLAB 模型。

通过将联邦成员运行流程嵌入到 S-Function 功能流程来开发 MATLAB 适配器,如图 2 所示。

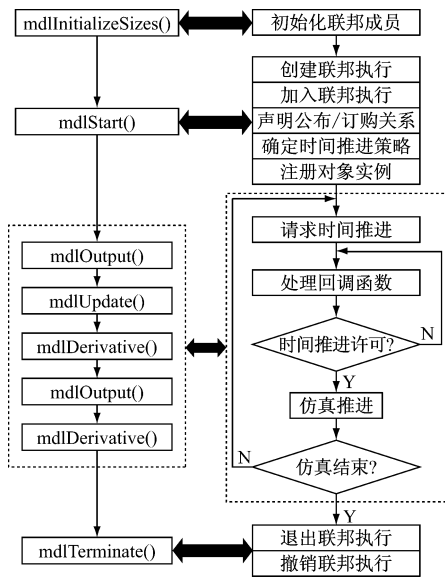


图 2 MATLAB 适配器开发示意

2.2 ADAMS 适配器

ADAMS 的 API 接口开放性较低,为 ADAMS 模型的直接编程封装带来很大难度。因此,基于 ADAMS/Controls 模块与 MATLAB/SIMULINK 环境,将 ADAMS 模型封装成 SIMULINK 模块^[11],再采用 MATLAB 适配器的开发方式实现 ADAMS 适配器开发。

ADAMS 适配器的开发步骤:① 建立 ADAMS 机械系统模型。该模型可直接在 ADAMS 下建立,也可利用 ADAMS 与其他 CAD/CAE 软件接口,导

入已建好的外部模型。② 确定 ADAMS 模型需发布订购的输入输出变量。③ 利用 ADAMS/Controls 模块,输出 ADAMS 数据文件和 MATLAB 模型文件。④ 若 ADAMS 模型需要初始化操作,则可修改上一步 MATLAB 模型文件,将 ADAMS 批处理命令文件的语句写入 MATLAB 模型初始化进程。⑤ 在 MATLAB/SIMULINK 环境下读取 ADAMS 输入输出变量,构建 ADAMS 模型的 SIMULINK 模块。⑥ 采用 MATLAB 适配器的开发方式对 ADAMS 模型的 SIMULINK 模块进行开发,实现对 ADAMS 模型的封装。

2.3 PLC 适配器

PLC 是工控现场使用最多的逻辑控制器,具有数据采集和控制两大功能。一般通过各类传感器实时采集数据,经 PLC 简单逻辑编程处理后驱动执行器控制设备运行。同时 PLC 还可与上位机 PC 连接,实现监控功能。本文以应用最广泛的西门子 S7-200/300 系列 PLC 为例,进行 PLC 适配器的开发。

西门子 PLC 与 PC 通信一般采用西门子内部 MPI/PPI 协议,并不对外开放,无法直接编程实现 PLC 模型与平台的互联。PRODAVE 是用于 PC 与 S7-200/300 系列 PLC 之间数据通信的软件工具包,其提供了基于 Windows 系统的动态链接库函数,用户可通过调用相应函数的方法编程实现 PC 和 PLC 的实时数据交换^[12-13]。在硬件连接上,PRODAVE 支持 PC/MPI 适配器(PC-Adapter)、MPI 通信处理器(CP5611 卡)、PC/PPI 电缆等设备实现 PC 和 PLC 物理连接。因此,采用将联邦成员运行流程嵌入到 PRODAVE 工作流程中的方式来实现 PLC 适配器的开发,如图 3 所示。

PLC 适配器开发步骤:① 安装 PRODAVE 软件工具包。② 设置 PG/PC 接口。③ 将 PRODAVE 相关文件拷贝至工程目录,并进行相关文件库配置。④ PLC 连接初始化。建立 PLC 连接,激活对应 PLC 连接,同时进行仿真联邦初始化。⑤ 从 PLC 读取数据,同时更新仿真联邦属性值。⑥ 等待仿真联邦属性值反馈,将数据写入 PLC。⑦ 循环仿真。⑧ 断开 PLC 连接,结束联邦仿真。

2.4 数据采集卡适配器

数据采集卡用来进行物理量信号的采集和变送,为 PC 端提供设备实时数据。本文以研华 ADAM 数据采集卡为例,进行数据采集卡适配器的开发。

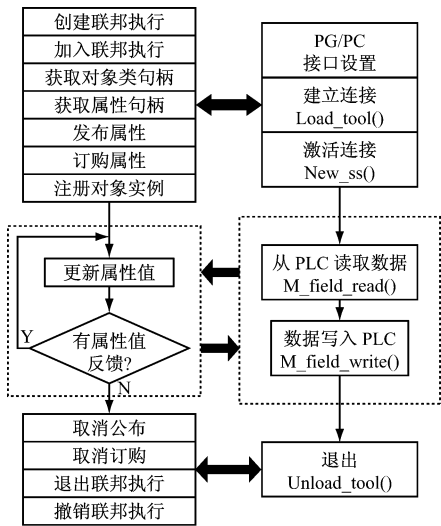


图 3 PLC 适配器开发示意

研华 ADAM 数据采集卡支持 ASCII 协议编程实现其与 PC 的连接,编程主要流程为通过串口发出命令,然后收取回复^[14-15],如图 4 所示。数据采集卡适配器开发步骤:① 安装驱动和测试软件 Utility,然后设置串口通信参数,再配置模块参数,之后可通过函数调用的方式编程。② 在串口的打开、状态读取和属性设置阶段,进行 RTI 联邦创建等准备工作。③ 在串行数据的发送和接收阶段,进行 RTI 属性值的更新。④ 在串口的关闭阶段,进行 RTI 的取消公布等操作。⑤ 退出联邦。

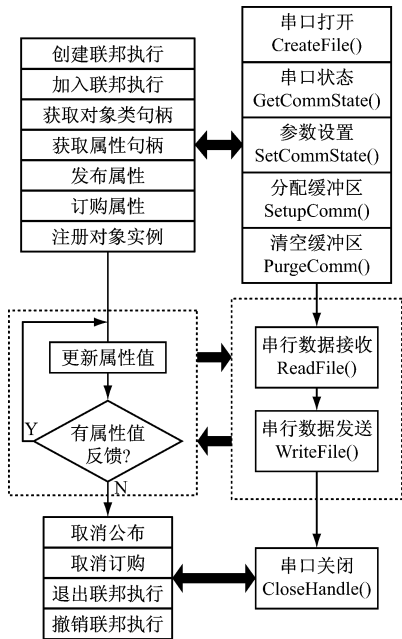


图 4 数据采集卡适配器开发示意

3 平台功能测试

以综采工作面“三机”协同控制系统为例,测试

综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台的可行性。平台主要任务及联邦成员分配:① 采煤机位置检测和液压支架控制任务,设计由西门子 S7-200PLC 仿真完成,建立 PLCRTI 联邦成员。② 数据采集任务,设计由 ADAM-4117 数据采集器完成,建立 ADAMRTI 联邦成员。③ 数据处理计算任务,设计由 MATLAB 完成,建立 MATLABRTI 联邦成员。④ 运动学仿真任务,设计由 ADAMS 完成,建立 ADAMSRTI 联邦成员。同时为控制平台整体运行,设立控制台程序联邦成员 MainEXE。平台运行支撑环境选用清华大学开发的 TH-RTI,其控制台程序界面为 Rtig-gui。根据各仿真联邦成员功能和实际分布情况,将 PLCRTI 联邦成员和 ADAMRTI 联邦成员分配在 PC-1,负责平台硬件部分的数据采集和控制;MATLABRTI 联邦成员和 ADAMSRTI 联邦成员分配在 PC-2,负责平台科学计算和运动学模拟;MainEXE 联邦成员和 Rtig-gui 分配在 PC-3,负责平台整体运行控制。综采工作面“三机”协同控制系统仿真平台结构如图 5 所示。

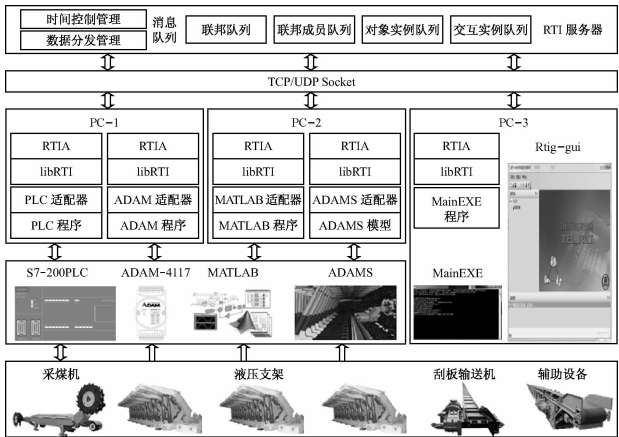


图 5 综采工作面“三机”协同控制系统仿真平台结构

在平台运行过程中,ADAMRTI 联邦成员订购 MainEXE 控制台程序联邦成员需求,并实时发布至平台进行数据共享。PLCRTI 联邦成员实时检测采煤机位置信号,并发布至平台。MATLABRTI 联邦成员则订购 PLCRTI 联邦成员检测的采煤机位置信号,经过计算公布采煤机位置至平台。ADAMSRTI 联邦成员订购 MATLABRTI 联邦成员输出的采煤机位置信号后,驱动采煤机三维模型运动仿真。经仿真过程在线观测,仿真输出的采煤机位置曲线和 MATLABRTI 联邦成员计算的采煤机位置曲线一致,表明平台各异构模型间实现了数据交互仿真。

4 结语

搭建了基于 HLA 技术的综采工作面复杂装备嵌入式协同仿真平台,针对平台实现的关键技术开发了 MATLAB、ADMAS 软件适配器和 PLC、数据采集卡硬件适配器。通过综采工作面“三机”协同控制系统实例验证,该平台能够满足综采工作面复杂装备实时嵌入式仿真需求。

参考文献:

[1] 王金华. 我国煤矿开采机械装备及自动化技术新进展[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(1): 1-4.

[2] 樊启高. 综采工作面“三机”控制中设备定位及任务协调研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2013.

[3] 张睿, 王之腾, 张宏军, 等. 浅析建模与仿真领域的现状与发展趋势[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(增刊 1): 52-55.

[4] 唐树才. 基于扩展 HLA 的协同仿真支撑环境研究[D]. 北京: 清华大学, 2008.

[5] 赖明珠, 段志鸣, 刘素艳, 等. 基于 HLA 的多领域协同仿真模型集成研究[J]. 计算机工程, 2012, 38(16): 77-80.

[6] 岳英超, 肖田元, 范文慧, 等. 面向高速动车组列车的协同仿真平台[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(8): 1681-1685.

[7] 陈新, 范文慧, 岳英超. 一种支持异构操作系统的协同仿真运行支撑系统[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(增刊 1): 83-85.

[8] 任来红. 基于 HLA 的综采工作面嵌入式协同仿真技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2015.

[9] 蒯伟, 张志辉. Simulink 模型在 HLA 仿真中的应用方法研究[J]. 计算技术与自动化, 2012, 31(3): 34-38.

[10] 史璐莎, 张斌, 张涛. MATLAB 环境中 HLA 联邦成员开发技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(10): 10-14.

[11] 梁思率, 张和明. ADAMS 二次开发技术在分布式仿真中的应用[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(10): 2940-2944.

[12] 杨帆, 高德欣, 于永茂, 等. 基于 Prosave 的西门子 PLC 监控系统设计及应用[J]. 自动化技术与应用, 2013, 32(4): 63-66.

[13] 胡满, 胡宁, 刘玉霞. PRODAVE 在 S7-200 PLC 监控系统中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2013, 32(10): 33-35.

[14] 屈武江. 串口数据采集系统在 VS2008 中的设计与实现[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2013, 31(3): 409-412.

[15] 龚新文. 串口通信在 VS2008 中的实现与应用[J]. 电脑与电信, 2011(3): 47-48.