

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2017.5.05

基于 OPNET 的 MVB 网络模型

王莹¹, 胡黄水¹, 郑曼¹, 赵思远¹, 王博²

(1.长春工业大学 计算机科学与工程学院, 吉林 长春 130012;

2.长春客车股份有限公司, 吉林 长春 130012)

摘要: 在 OPNET 仿真环境下, 搭建了 MVB 三层构架的网络模型, 并对多功能车辆总线通信网络的网络时延进行仿真, 预测轨道车辆通信网络过程中存在的问题。

关键词: 轨道车辆; 可靠性; 实时性; MVB

中图分类号: U 285.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2017)05-0438-04

MVB network model based on OPNET

WANG Ying¹, HU Huangshui¹, ZHENG Man¹, ZHAO Siyuan¹, WANG Bo²

(1.School of Computer Science and Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China;

2.CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun 130012)

Abstract: With OPNET software, a three-layer MVB network model is built to simulate network delay of a multifunctional rail vehicle bus-communication network, and predict the problems in the communication between the rail vehicles.

Key words: railway vehicle; reliability; real-time; MVB.

0 引言

列车通信网络是面向控制的一种连接车载设备的数据通信系统^[1]。为了控制节点提供稳定、可靠的通信服务, 形成了基于网络的列车控制系统, 即列车网络控制系统^[2]。现有国内外主流列车网络控制系统采用的通信网络主要包括 MVB、ARCNET、WordFIP、LonWorks 和 CAN 等, 而 MVB 作为 IEC61375 国际标准列车通信网络^[3]之一, 因其结构简单, 应用广泛, 实时性、安全性和

可靠性高而成为研究热点。

针对列车通信网络, 国内外学者已采用了多种网络仿真建模方法。文献[4]基于 UML 建立传输总线模型对网络系统性能进行分析; 文献[5]基于 TCN 网络对 CRH3 型动车组网络控制系统进行半实物仿真, 实现了消息数据、过程数据等数据通信; 文献[6]对 MVB 主节点的传输协议模型进行分析研究; 文献[7]基于 TCPN 建立绞式列车总线模型等。但大多数文献都集中在周期数据的分析, 很少有文献建立 MVB 的完整通信模型。

收稿日期: 2017-07-25

基金项目: 吉林省科技厅科技攻关计划基金资助项目(20140204037GX, 20150204073GX); 吉林省发展与改革委员会经济结构战略调整引导专项基金资助项目(2014Y125)

作者简介: 王莹(1993-), 女, 汉族, 湖北天门人, 长春工业大学硕士研究生, 主要从事列车通信网络方向研究, E-mail: 164042798@qq.com. * 通讯作者: 胡黄水(1974-), 男, 汉族, 湖南隆回人, 长春工业大学副教授, 博士, 主要从事列车通信网络方向研究, E-mail: huhs@163.com.

基于此,建立了基于 OPNET Modeler 下的 MVB 总线通信网络仿真模型,实现了 MVB 多功能车辆总线信息交互的运行过程。该模型仿真模拟了多功能车辆总线采用周期性预分配介质的主从控制方式^[8]、过程数据轮询^[9]和事件仲裁^[10]等过程。针对多功能车辆总线通信网络的网络时延的仿真结果,为实际轨道车辆网络系统的设计和建^[11-12]提供重要的参考价值。

1 多功能车辆总线模型

MVB 网络通信方式采用周期性预分配介质的主从控制方式。介质访问采用集中控制来减少对总线的碰撞,由单一的总线主设备来控制,一个时间段内有且只有一个总线主设备对整个网络进行集中管理。总线主设备按照预定的顺序对端口进行周期性轮询,是唯一能发送主帧的设备,确认主设备后其他设备都作为从设备,从设备发送响应主帧的从帧。一次轮询结束后,总线主设备可以通过功能码设置进行主权的转移。

1.1 网络模型

基于 OPNET Modeler 模拟轨道车辆的 MVB 区段内通信网络模型,其网络拓扑结构模型如图 1 所示。

网络模型主要包括:1 个 MVB 网络总线管理器(Bus_Administrator)和 7 个从设备节点(node_0~node_6),总线管理器及所有从设备节点均连接到 MVB 总线上进行数据通信。根据 IEC 国际标准,拓扑中定义了几个主要的信道参数,输入由.txt 文件来描述、MVB 网络传输速率、传播延迟以及误比特率。

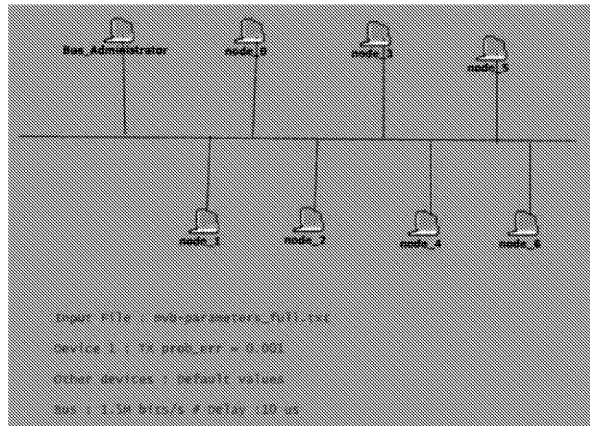
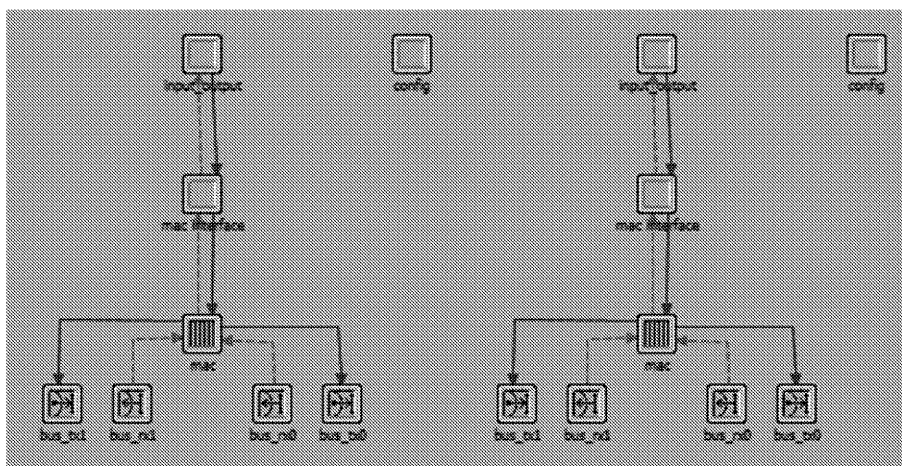


图 1 网络拓扑结构

1.2 节点模型

根据主从设备不同的数据通信方式,节点模型有总线管理器和设备节点两种。对照 OSI 模型的应用层、数据链路层、物理层,该节点模型中每个节点都应该包括应用层、MAC 接口层、MAC 层和两组总线收发信机。总线管理器(即主设备节点)负责发送主帧对各端口地址进行轮询和控制时序;从设备节点则实现数据的响应,根据端口地址的源宿差别进行所需的响应。主设备节点以源寻址广播方式发送主帧后,总线所有的从设备逻辑端口都接收这个主帧并进行译码,从设备节点的源端口判断发出主帧中的端口地址是否与自己的相同,如果相同则发送一个从帧来响应该主帧,发出的从帧也会被所有设备接收,同样判断端口地址匹配后,从设备节点的宿端口响应并接收该从帧。

总线设备节点模型如图 2 所示。



(a) 主设备

(b) 从设备

图 2 总线设备节点模型

图 2(a)主要包括 input_output、mac_interface、mac、bus_tx0、bus_rx0、bus_rx1、bus_tx1、config 7 个对象模型。input_output 模块为主设备节点模型的应用层,按照泊松分布发送主帧对各端口地址进行轮询。mac_interface 模块负责对收到的数据包进行判断处理,协调数据包在应用层与 mac 之间的转移。mac 模块实现对报文的封装、解封和收发,同时有碰撞检测处理机制。bus_tx0、bus_tx1 模块为总线发信机, bus_rx0、bus_rx1 模块为总线收信机,这两组收发机模拟了 MVB 中两个独立的互为冗余的双绞传输线, config 模块用于配置端到端业务。

图 2(b)也主要包括 input_output、mac_interface、mrv_mac、bus_tx0、bus_rx0、bus_rx1、bus_tx1、config 7 个对象模型。input_output 模块为从设备节点模型的应用层,接收主设备节点发送的主帧,根据源宿差别处理数据,若端口地址不匹配,则销毁接收的数据节约内存。其他模块均与主设备节点模块相同功能。

1.3 进程模型

根据各节点模块的不同功能,进程模型采用事件发生来模拟节点模型中各对象模块通信的各种状态。

主设备节点的 input_output 模块的进程模块主要实现周期轮询、事件巡回、设备扫描。该进程模块的状态转移如图 3 所示。

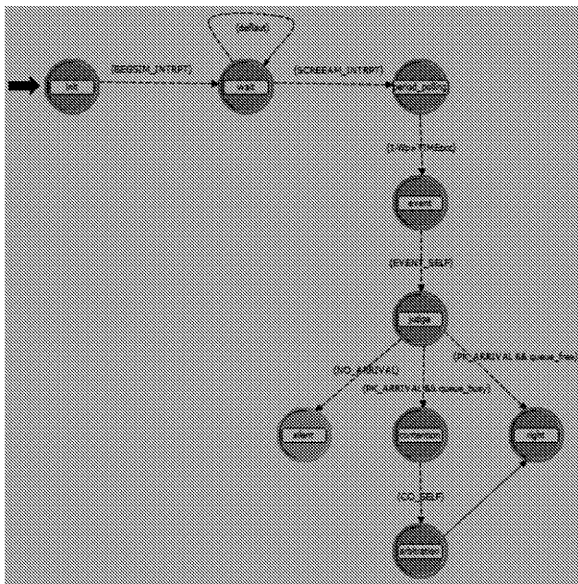


图 3 主设备节点进程模块的状态转移

“init”状态对 MVB 设备进行初始化,设置总线管理器参数,定义设备表与周期扫描表等硬件信息。“wait”状态等待输入流中断后进入周期轮询。进入“period_polling”状态后,根据预定的周期轮询表执行周期数据轮询的发送。按照实时协议,偶发相的时间为基本周期的 35%。当周期性数据轮询过程结束后,判断该基本周期剩下的时间是否满足偶发相时间的要求。此时主设备将发送一个一般事件请求帧进行事件巡回,即跳入“event”状态,进入偶发相,传送监视数据和消息数据。该请求帧确定这是否是一个新的事件巡回,要求应答和此巡回的事件优先级,对所有设备进行寻址。事件请求响应后,产生自中断进入“judge”状态。对事件巡回的响应会发生寂静、正确、碰撞三种状态。当所有设备没有事件报告时,主设备将不会收到任何帧,即跳入“silent”状态。当主设备收到一个正确的 16 位从帧时,表示只有一个设备报告事件,即进入“right”状态。当有多个设备同时报告事件时,则进入“contention”状态,进行下一步的仲裁。在“arbitration”状态中,主设备发送一个 F_code=13 的组事件请求帧将设备地址分为奇数及偶数,直到为单一事件,然后再搜索挂起的其他单一事件。

mrv_mac 模块的进程模块主要负责分配信道资源、检测和碰撞。该进程模块的状态转移如图 4 所示。

当帧到达时,跳入“proc”状态。在该状态中,根据读取帧的功能码和端口地址,创建相应的从帧,将包缓存到队列中。功能码 0~4 的主帧为过程数据请求,12 位逻辑地址部分则标识了从设备用于回应过程数据从帧。功能码为 12 的主帧为消息数据请求,请求的 12 位物理地址则指定设备发送消息数据,功能码 8、9、13、14、15 的主帧为监视数据请求,功能码为 8,则实现主权转移请求,功能码为 15 则读取设备状态,功能码为 9、13 和 14 则用于查询和仲裁。然后判断队列情况,如果包到达且队列为空,则跳转到“tx”状态,进行发送处理。如果包到达且队列忙,则跳转到“proc”状态,该状态中设有一个 T_reply 参数,它告诉主设备在遭遇碰撞时应在等待多长时间之后发送下一主帧。

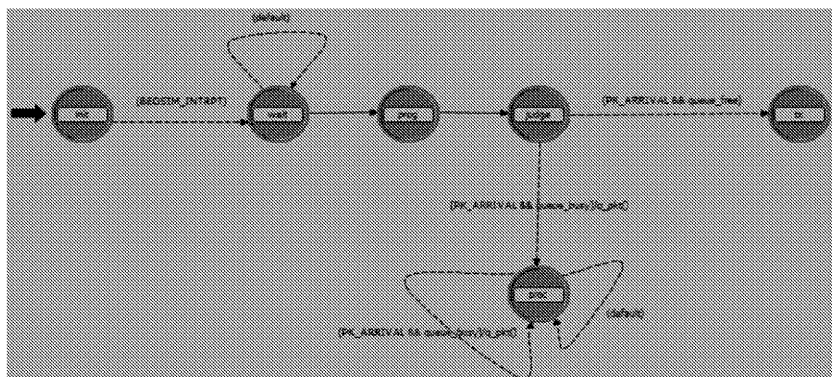


图 4 mvb_mac 进程模块的状态转移

2 仿真实验

假设一条 MVB 总线,基本周期大小为 1 ms,电气长度为 2.0 km,含有 2 个中继器。MVB 采用双绞线、光纤等作为介质,节点间距离小,链路时延非常小,可以忽略不计。在仿真过程中,数据传输时延 $T(\text{ms})$ 的实验结果如图 5 所示。

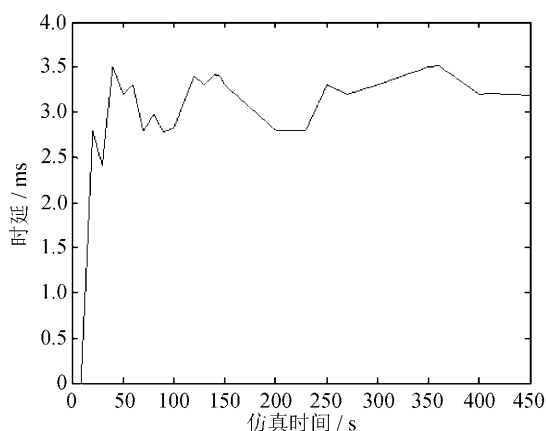


图 5 MVB 网络实时性

从图中可以看出,全部仿真过程中,传输时延大概在 3.4 ms 附近波动,该数值小于主帧与相应的从帧时间间隔 4 ms。仿真过程中显示出最大数据传输时延为 27 ms,也小于列车控制过程中的响应时间要求 100 ms。基于以上分析,文中所构建的基于 OPNET 的 MVB 通信网络模型满足列车控制的实时性要求。

3 结 语

采用 OPNET 构建了网络、节点、进程三层构架的 MVB 网络拓扑模型,并对所建立的 MVB 网络模型的实时性进行了仿真分析,结果表明了所建立的 MVB 网络模型的可行性,且显示了网络控制系统在 OPNET 平台下仿真的实践性和可靠性。通过构建任意网络规模、任意网络拓扑结构

的 MVB 网络,极大简化了建模过程,为 MVB 网络应用及其理论研究提供基础平台,缩短了研发周期,为实际轨道车辆通信网络提供了基础依据,为更好地改进优化网络设计提供了重要依据。

参考文献:

- [1] 何明.基于 TCN 的列车网络管理系统设计与实现[D].武汉:华中科技大学,2015.
- [2] 杨光,张峰,张士文,等.基于 ARM 和 FPGA 架构的地铁车辆 MVB 总线分析仪设计[J].城市轨道交通研究,2015,18(5):24-28.
- [3] 刘玉铃,贾敏,王莹,等.CRH380B 型动车组制动系统半实物仿真试验台 MVB 通信的实现[J].铁道车辆,2017,55(8):32-35,5.
- [4] Boterenbrood H. CAN open high-level Protocol for CAN-bus[M]. [S.l.]: NIKE-F Amsterdam,2000.
- [5] 陈文翔.基于 TCN 的 CRH3 型高速列车控制系统半实物仿真平台设计[D].杭州:浙江大学,2012.
- [6] Xia M, Lo K, Shao S, et al. Formal modeling and verification for MVB [J]. Journal of Applied Mathematics,2013(3):1-12.
- [7] 邓家龙,刘可安.基于 MVB 通信的 VCU 软冗余功能研究与开发[J].铁道车辆,2009,47(11):23-27.
- [8] 范超,于跃,顾宏.基于 Pareto 蚁群算法的 MVB 周期轮询表优化设计[J].大连理工大学学报,2015,55(3):319-325.
- [9] 刘峰.轨道车辆 MVB 网络模型研究与设计[D].长春:长春工业大学,2016.
- [11] 郭超勇,刘建强,游小杰,等.高速动车组列车网络控制系统仿真与建模研究[J].系统仿真学报,2012,24(6):19-23.
- [12] 毕红雪,王丽红,王秀清,等.铁道车辆 MVB 网络分析[J].铁道运营技术,2017,23(1):49-51.
- [13] 李学锋.基于 MVB 和嵌入式操作系统的 CRH1 型动车组单车测试系统[J].铁道车辆,2016,54(7):34-38,52.