

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2018.5.10

## 基于以太网子网的列车性能研究

戚小莎, 王宏志\*, 王晓宇, 赵航, 胡黄水

(长春工业大学 计算机科学与工程学院, 吉林 长春 130012)

**摘要:** 针对三种子网拓扑结构,从网络时延、网络负载以及吞吐量、链路使用率四个方面进行了对比研究。仿真研究表明,增加冗余可以满足列车以太网通信低时延、高实时性的需求,改善了吞吐量和链路使用率。

**关键词:** 子网拓扑; 列车; 以太网

**中图分类号:** U 285.5    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-1374(2018)05-0475-05

## Train performance based on ethernet subnetwork topology

QI Xiaosha, WANG Hongzhi\*, WANG Xiaoyu,  
ZHAO Hang, HU Huangshui

(School of Computer Science and Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Three different subnet network topologies are compared from four aspects: network delay, network load, throughput and link utilization. Simulation show that added redundancy can obviously improve communication delay, real-time, throughput and link utilization.

**Key words:** subnet topology; the train; ethernet.

### 0 引言

近几年,铁路列车技术在我国取得了十分迅速的发展,应用在轨道列车上的网络通信技术也在快速提高。由于乘客开始朝着智能、舒适以及高速的方向提出需求,轨道方面的网络通信技术也朝着这些方向开始更快的发展。在列车中,由于信息量的持续增加以及车辆设计架构的复杂化,轨道方面的网络通信技术虽然日益提高,但也导致了技术相关方面相较之前更复杂。同时由于

网络通信技术的提高,网络所需要发送以及接收的各类数据更是与日俱增。现有的传统列车通信网络技术中,总线主要有 CAN、WorldFIP、TCN 等,但无论哪种总线,总是存在着一些无法解决又对网络通信影响较大的问题,例如实时性以及通用性比较差、网络时延较高、利用率低等<sup>[1]</sup>。

网络通信部分在整个列车系统中又起着承上启下的作用,是整个系统的重要组成部分。列车通信网络负责执行对数据的发送和接收。同时,检测轨道列车上组成列车系统的关键部分,并对

收稿日期: 2018-07-25

基金项目: 吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(JJKH20181013KJ); 吉林省发改委产业技术与开发项目(2018C039-2)

作者简介: 戚小莎(1995—),女,汉族,浙江诸暨人,长春工业大学硕士研究生,主要从事工业以太网技术方向研究,E-mail: 981486899@qq.com. \* 通讯作者: 王宏志(1961—),男,汉族,黑龙江牡丹江人,长春工业大学教授,博士,主要从事数字信号处理方向研究,E-mail: wanghongzhi@ccut.edu.cn.

其数据进行收集,从而发送所收集的数据到数据分析中心,这一步骤是十分重要且必要的,只有通过这一步骤,才能基本保证轨道列车在轨道上安全可靠的运行,由此可见列车网络通信是十分重要的<sup>[2]</sup>。而以太网是现阶段中相较于其他网络技术而言更为主流的局域网标准,它很大程度上取代了其他局域网标准,与传统的列车通信网络总线相比,以太网具有更高的网络吞吐量,现阶段 10 M 和 100 M 以太网是最常应用在网络中的以太网。除此之外,以太网还具有价格低廉、适用于各种情况、容易扩展等优点。由上可知,搭建基于以太网网络通信技术的列车通信局域网具有实际意义。

文中通过构建以太网子网网络拓扑的不同模型进行仿真,分析比较了三种不同的网络拓扑结构的网络时延、网络负载以及吞吐量、链路使用率<sup>[3]</sup>。

## 1 基于以太网子网网络拓扑结构的列车通信

### 1.1 TCP/IP 协议

列车通信网络采用 TCP/IP 协议<sup>[3]</sup>,该协议使用四层网络,其中底层的网络访问层包括物理层和数据链路层,而数据链路层又包括了逻辑链路控制子层以及介质访问控制子层。

应用层:为 Internet 操作、文件传输、网络排错以及远程控制提供了所需的应用程序,同时还支持应用编程接口,使得网络能够被某一操作系统编写的程序所访问。

传输层:提供流量控制、确认服务和错误控制,充当网络应用程序的接口。

网际层:提供独立于硬件的逻辑寻址,从而让数据能够在具有不同物理结构的子网之间传递。提供路由功能降低流量,支持网间的数据传递。实现物理地址与逻辑地址的转换。

网络访问层:提供与物理网络连接的接口。针对传输介质设置数据的格式,根据硬件的物理地址实现数据的寻址,对数据物理网络中的传递提供错误控制。

### 1.2 子网网络结构拓扑图

基于以太网的交换技术组网,交换机成为通信网络的中间桥梁,交换机与所有终端设备直接连接<sup>[3]</sup>,由于终端设备过多或交换机过多,文中利用子网将路由器以及各个终端设备放在不同的子

网中进行信息传输。当以太网的交换技术以子网的形式在列车通信网络中应用时,为了比较不同数量的冗余,将所用到的子网网络拓扑结构分为直线形拓扑结构、环形拓扑结构以及双冗余环形拓扑结构三种,分别如图 1~图 3 所示。

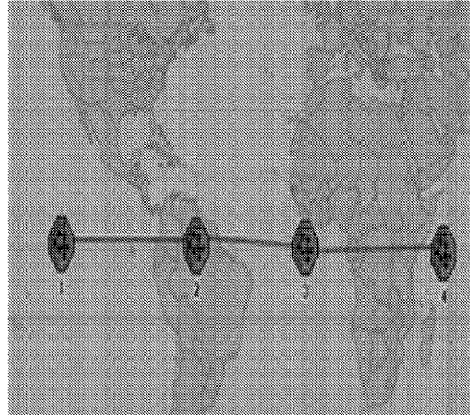


图 1 直线形拓扑结构

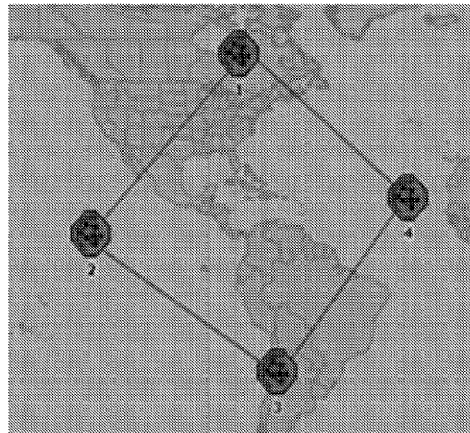


图 2 环形拓扑结构

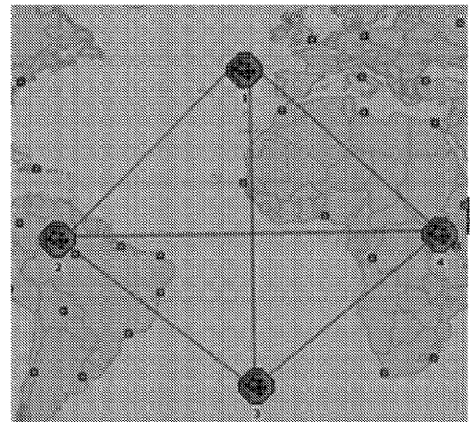


图 3 双冗余环形拓扑结构

子网内部主要采用了三层结构:网络模型、节



点模型、进程模型, 分别如图 4~图 6 所示。

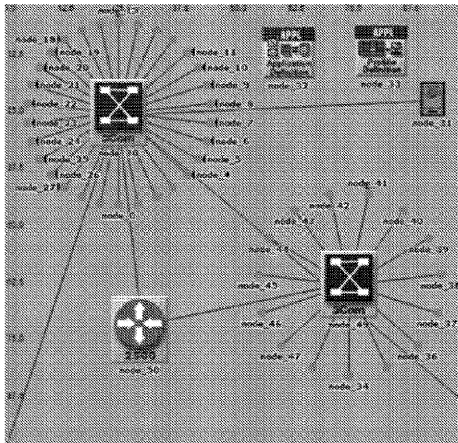


图 4 网络模型

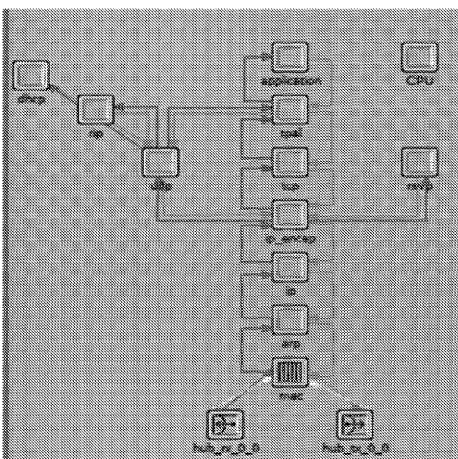


图 5 节点模型

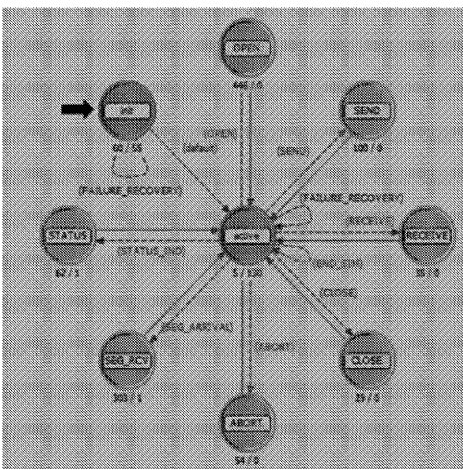


图 6 进程模型

在子网中采用了四个子网结合的三种拓扑结构图, 分别创建了三种不同的网络场景, 采用带宽 10 M 以太网传输。

### 2 网络传输性能仿真结果及分析

仿真实验中, 首先验证所构建的子网网络拓扑结构仿真模型是否具有可行性, 即是否能够查看网络时延、网络负载、数据吞吐量等, 以及是否能够完成总体数据的发送和接收等相关的基础研究。仿真中三种不同的子网网络结构按照第 1 节中要求, 一共设置了三个仿真场景, 其中仿真时间设定为 1 h。以太网网络时延、网络负载和点对点吞吐量、链路使用率仿真结果如图 7~图 10 所示<sup>[4]</sup> (其中, 浅色代表直线形拓扑结构, 略深色代表环形拓扑结构, 深色代表双冗余环形拓扑结构)。

图 7 为列车通信网络的网络时延性能分析: 在三种不同的子网网络拓扑结构进行仿真时, 直线形拓扑结构的以太网网络延时最小, 只有 0.027 5 s 左右; 双冗余环形拓扑结构的以太网网络延时适中, 在 0.032 5 s 左右; 环形拓扑结构的以太网网络延时在三者之中达到最大, 在 0.037 5 s 左右。从图 7 可以分析出, 这三种以太网子网网络拓扑结构在网络实时性方面都能满足列车的实时性要求, 即延时小于 0.04 s。

图 8 为列车通信网络的网络负载性能分析: 在使用这三种不同的冗余拓扑结构的以太网时, 网络负载都较为相似, 其大小在 4 000 bit/s 左右。相比之下直线形拓扑结构负载更大一些, 而双冗余环形拓扑结构负载更小一些。

图 9 为列车通信网络的点对点吞吐量性能分析: 在三种不同的子网网络拓扑结构进行仿真时, 双冗余环形拓扑结构的以太网点对点吞吐量最小, 只有 7 000 bit/s 左右; 直线形拓扑结构的以太网点对点吞吐量适中, 在 10 000 bit/s 左右; 环形拓扑结构的以太网点对点吞吐量最大, 达到 11 000 bit/s 左右。

图 10 为列车通信网络的链路使用率性能分析: 在三种不同的子网网络拓扑结构进行仿真时, 双冗余环形拓扑结构的以太网链路使用率最小, 只有 0.075 s 左右; 直线形拓扑结构的以太网链路使用率适中, 在 0.1 s 左右; 环形拓扑结构的以太网链路使用率最大, 达到 0.125 s 左右。从图 10 可以分析出: 这三种不同的网络拓扑结构中链路使用率大大低于 25% 的标准; 此时, 通信网络几乎不会发生数据报文的碰撞, 能够保证网络中各种数据可靠、实时地传输<sup>[5-10]</sup>。



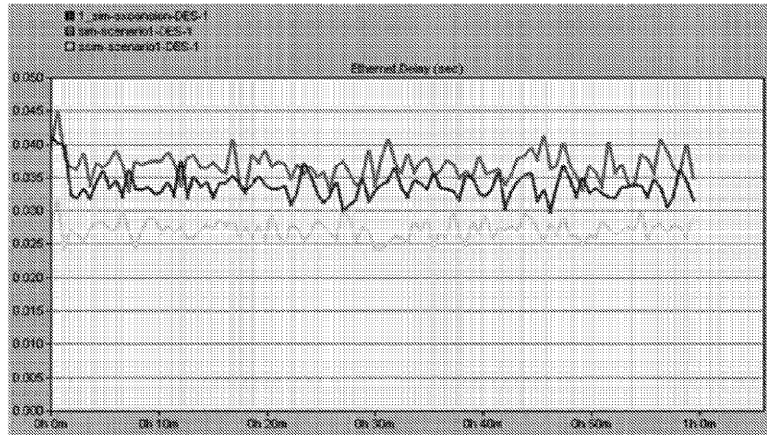


图 7 以太网时延仿真对比

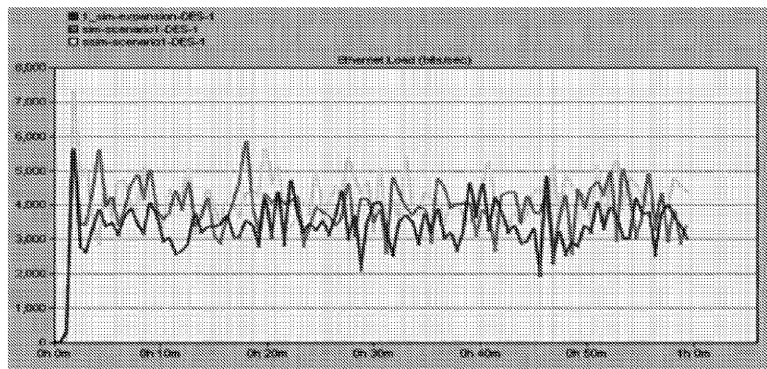


图 8 以太网链路负载仿真对比

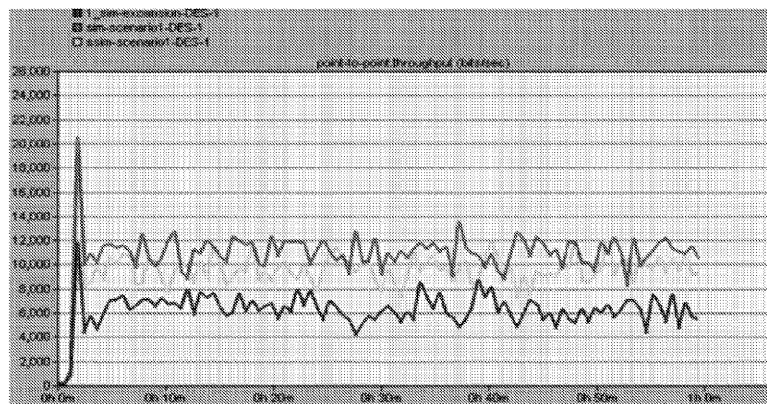


图 9 以太网吞吐量仿真对比

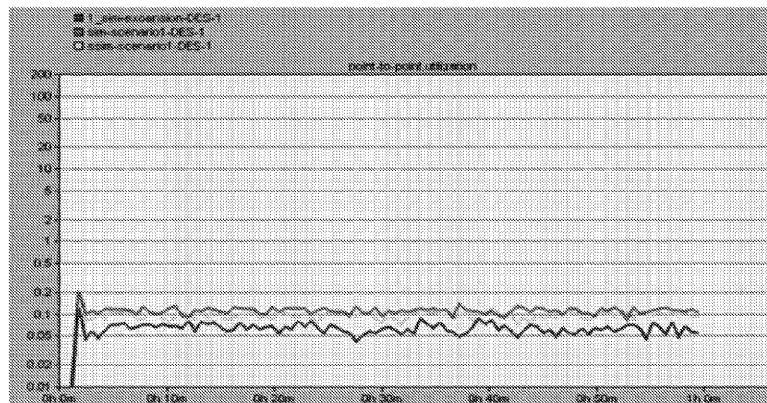


图 10 以太网链路使用率仿真对比

通过分析三组仿真可以发现,三种以太网子网网络拓扑结构虽然都能进行数据的发送和接收,而以太网子网直线形拓扑结构虽然时延较低,但负载较高,而列车以太网的通信网络需要低负载,显而易见,子网直线形拓扑结构是不能满足列车以太网通信网络性能要求的。而以太网子网环形拓扑结构时延较高,列车以太网中的通信却需要低时延,因此子网环形拓扑结构也不能满足列车以太网通信网络性能要求。以太网子网双冗余环形拓扑结构时延适中,相较于其他拓扑结构而言负载更小,而列车以太网中的通信需要低时延、低负载以及低网络利用率,可见子网双冗余环形拓扑结构能够满足列车以太网通信网络性能要求。

### 3 结 语

结合列车网络的实际通信情况,将以太网子网网络拓扑结构引入以太网列车通信网络中。其中以太网网络时延反映了网络底层通信的性能,网络负载提供了总体网络是否饱和的判断数据,吞吐量检测了以太网的网络带宽,链路使用率描述了网络拥塞情况。通过分析以太网子网网络拓扑结构的不同结构,并通过仿真软件进行对比,得出了带宽为 10 Mbit/s 的以太网在三种不同子网网络拓扑结构环境下的特性。仿真结果表明,三种结构中,以太网双冗余环形拓扑结构最能够满足列车以太网中通信需要的低时延和高实时性,

以及合适吞吐量和链路使用率。

### 参考文献:

- [1] 樊高.基于以太列车骨干网的高速列车网络性能仿真研究[D].成都:西南交通大学,2013.
- [2] 张志国.基于工业以太网的高速列车通信网络仿真[J].计算机与现代化,2017(9):1-6.
- [3] 谭文举.基于以太网的城轨列车网络拓扑结构性能分析[J].装备制造技术,2017(1):112-115.
- [4] 苗剑,贺德强,丁超义.基于工业以太网的列车通信网络及其仿真研究[J].计算机测量与控制,2010(10):2417-2420.
- [5] 丁超义,苗剑,贺德强,等.基于 OPNET 的列车工业以太网仿真研究[J].广西大学学报:自然科学版,2010,35(2):269-272.
- [6] 李爽,林家骏.基于 OPNET 的数字化变电站过程子网的性能研究[C]//第九届工业仪表与自动化学术会议论文集.上海:华东理工大学,2008:87-91.
- [7] 裴子秀,谭献海.基于以太网的列车通信网络性能仿真研究[J].西南科技大学学报,2014(2):66-71.
- [8] 时博.EPL 工业以太网的实时性研究及其应用[D].南京:南京航空航天大学,2014.
- [9] 刘柏松,刘焯,李丙林,等.基于 Ethernet 网络的双向 S7 通信仿真[J].长春工业大学学报:自然科学版,2012,33(3):323-327.
- [10] 王志军.工业控制专用嵌入式以太网模块的开发[J].长春工业大学学报:自然科学版,2005,26(2):117-119.