

文章编号: 1674—8247(2021)02—0091—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.02.016

基于 TRDP 协议的高速动车组列车通信网络检测平台

张大林 郝梓腾 王洪伟 林思雨

(北京交通大学, 北京 100044)

摘 要:随着列车智能水平的不断发展,列车车载网络采用的 WTB/ MVB 技术受传输带宽的限制,已无法满足智能列车业务承载的需求。目前列车车载网络正向着以太网技术演进,400 km/h 高速动车组已应用了以太网技术。但以太网技术主要采用 CSMA/CD 协议,随着业务承载量的增大,业务传输过程中碰撞概率会不断增高,从而导致网络时延不稳定,甚至发生丢包和网络拥塞现象。本文基于 TRDP 协议构架了列车通信网络服务质量实时检测平台,依托 WinPcap 嗅探库进行数据包采集,结合 Flink 数据处理引擎实现了对以太网通信网络指标的实时计算,应用时序数据库 InfluxDB 对实时数据进行存储,能为列车运维人员实时展示并统计列车各类业务的网络运行状况,对保障列车通信网络的安全性和可靠性具有重要意义。

关键词:TRDP 协议; 列车通信网络; 以太网; 400 km/h 高速动车组

中图分类号:U284.59 **文献标志码:**A

Train Communication Network Detection Platform of High-speed EMU Based on TRDP Protocol

ZHANG Dalin HAO Ziteng WANG Hongwei LIN Siyu

(Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: With the continuous development of train intelligence, WTB/MVB technology applied in the onboard network is restricted by transmission bandwidth, and can no longer meet the service carrying demand of the intelligent trains. At present, the onboard network of trains is developed towards the Ethernet technology which has been applied to the 400 km/h high-speed EMU. However, CSMA/CD protocol is mainly adopted in Ethernet technology. With the increase of service carrying capacity, the collision probability will increase continuously in the process of service transmission, which leads to unstable network delay and even packet loss and network congestion. In this paper, a real-time detection platform for the service quality of train communication network is constructed based on TRDP protocol, data packets are collected based on WinPcap sniffer library, Ethernet communication network indicators are calculated in real time according to Flink data processing engine, and time series database InfluxDB is applied for real-time data storage, which can display and make a statistics on the network operation status of various train services in real time for train operation and maintenance personnel, and is of great significance to ensure the safety and reliability of train communication network.

Key words: TRDP protocol; train communication network; Ethernet; 400 km/h high-speed EMU

从上世纪 90 年代开始,我国高速铁路动车组技术 历经自主探索、引进消化吸收再创新以及自主创新三

收稿日期:2021-03-01

作者简介:张大林(1983-),男,副教授。

基金项目:国家自然科学基金(61790575)

引文格式:张大林,郝梓腾,王洪伟,等. 基于 TRDP 协议的高速动车组列车通信网络检测平台[J]. 高速铁路技术,2021,12(2):91-95.

ZHANG Dalin, HAO Ziteng, WANG Hongwei, et al. Train Communication Network Detection Platform of High-speed EMU Based on TRDP Protocol [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 91-95.

个阶段,复兴号中国标准动车组标志着我国真正意义上具备了完全自主知识产权的动车组技术。2020年,我国400 km/h高速动车组在中车唐山公司下线,昭示着我国高速动车组技术进入了新的阶段,有助于推动中国铁路“走出去”,对促进国际经济、文化融合发展具有重要意义。

高速动车组结构复杂,子系统众多,列车通信网络是承担监测、控制等重要信息的关键,也是提升动车组信息化、智能化的核心。传统的列车通信网络有绞线式列车总线(Wire Train Bus, WTB)、多功能车辆总线(Multifunction Vehicle Bus, MVB)、CAN、ARCNET和LonWorks等。传统总线式列车网络具有实时性好、抗干扰能力强和稳定性高的优势,但其传输速率较低(MVB总线通信速率为1.5 Mbit/s,WTB总线通信速率为1 Mbit/s),无法满足大吞吐量的要求,且其扩展性较差,单一的总线实现功能难以应对复杂的通信任务^[1]。随着智能化时代的到来,列车通信网络的作用已不仅仅局限于简单的数据传输,还需实现网络故障诊断、优先级调度等更多功能,目前的现场总线技术已不能满足高速列车发展的需求^[2]。以以太网为代表的高速率传输技术已成了列车通信网络的发展方向,并陆续装备到我国多类型号的动车组列车上,我国400 km/h的高速动车组也采用以太网技术来实现高速列车的网络控制、智能化自动辅助驾驶等功能。

以太网使用CSMA/CD协议,可能会导致通信节点之间的信息传输冲突,并导致数据丢失或不确定的传输时延等,从而无法满足列车通信对实时性和确定性的要求^[3]。鉴于列车通信网络在动车组安全、高效运营过程中的关键作用,对基于以太网的列车通信网络开展安全性和可靠性测试具有重要意义。

为保障列车通信网络信息传输的可靠性和安全性,列车实时数据协议(Train Real-Time Data Protocol, TRDP)得到了广泛的应用^[4]。基于OSI网络模型,TRDP位于TCP/UDP传输层之上^[5],应用层之下,属于第五层协议。TRDP协议主要用于列车通信网络中过程数据和消息数据两种实时通信数据的传输。过程数据是实时周期性传输的,消息数据是实时非周期性传输的。过程数据长度小,一般用于控制单元发出的控制命令和远程输入、输出模块反馈的运行状态信息,但其数据量大、对可靠性、确定性、实时性要求高。消息数据一般用于设备状态信息和故障报警信息,数据量长短不一,对实时性要求较低^[6]。TRDP对过程数据的帧结构、交互模型和通信流程都进行了规定。

因此,本文以TRDP协议为基础,基于BS架构构建面向高速动车组列车通信网络的实时检测技术,实

现对时延、丢包、乱序、吞吐量等关键服务质量参数的测试和统计分析,验证列车车载网络的可靠性和安全性。

1 基于TRDP协议的动车组列车通信网络检测平台功能需求分析

面向TRDP的以太网通信网络监测平台的主要目标是实现对列车通信网络各类业务运行情况的实时监测,并可实现统计结果实时展示告警、历史统计结果查询、监测报告导出等功能。因此,本文设计了列车以太网通信网络性能监测平台,通过大数据技术对列车网络流量进行实时计算,并实现对列车网络流量实时采集存储、各类业务TRDP网络数据包的性能指标统计、网络监测统计结果的实时展示、统计数据的管理与监测报告的导出以及TRDP网络数据包发包规则与监测标准的配置等功能。性能监测平台基本需求如表1所示。

表1 性能监测平台需求分析表

序号	功能	功能描述
1	基本信息配置	(1)配置TRDP网络数据包发包规则及监测标准 (2)实现对配置信息的新增、更新、查询、删除等
2	网络数据包实时嗅取与传输	(1)实现对TRDP网络流量的抓取 (2)实现对抓取的网络流量进行过滤 (3)实现对TRDP网络数据包的解析
3	性能指标计算	(1)实时统计TRDP网络数据包的丢失情况 (2)实时统计TRDP网络数据包的乱序情况 (3)实时统计TRDP网络数据包的最大时延抖动 (4)实时统计网络链路吞吐量 (5)实时与监测标准进行匹配
4	网络数据存储	统计结果与TRDP网络数据包实时入库
5	实时展示	(1)支持展示各类业务的丢包情况、乱序情况、时延抖动及总丢包数量 (2)支持实时显示当前链路的吞吐量 (3)支持实时显示丢失数据包、乱序数据包
6	报表查询	支持多条件查询历史统计报表(包括乱序数据包、丢失数据包、数据包丢失数量、数据包乱序数量、时延抖动情况及链路吞吐量)
7	监测报告导出	支持按照时间及业务导出监测报告

1.1 TRDP数据包信息配置需求

TRDP数据包的基本信息配置主要应用于对网络性能指标的计算和当前性能指标是否符合传输标准的判断,包括Comid、源IP地址、目的IP地址、发送周期、数据包大小、最大丢包率阈值、时延抖动阈值等测试标准。

1.2 性能计算需求

TRDP协议的每类业务均对应一个Comid特性,并以此为基础,实时监测列车通信网络各类业务的数

据包丢失情况、数据包乱序情况及数据传输时延情况。要求能实时统计当前通信网络的带宽占用情况,设计算法实现对通信网络中丢包、乱序情况的实时计算,统计出数据包总量及各类业务中丢失数据包的数据量、乱序数据包的数据量和最大时延抖动,并根据每类业务的测试标准将丢失数据包、乱序数据包及最大时延抖动进行输出。

1.3 实时展示功能需求

为让用户直观了解当前列车网络状态的性能指标,要求实时展示当前的数据包总量、数据包丢失数量及数据包乱序情况。分别以柱状图和折线图的形式呈现当前每类业务的数据包丢失与乱序数量,要求折线图按照秒级进行展示,并具有筛选功能,柱状图按照分钟级别的粒度进行排序展示。

1.4 数据管理与报告导出需求

数据管理模块主要是为了让用户可以对历史统计数据数据进行回溯管理,进一步分析网络链路中可能出现的异常情况。数据管理需求主要是能根据时间、Comid、源 IP 地址、目的 IP 地址等查询条件查询历史数据。报告导出需求主要是能根据 Comid、目标地址、源地址及时间等查询条件生成报表,根据时间、业务 ID 等条件自定义生成报告。

2 基于 TRDP 协议的动车组列车通信网络检测平台设计

平台实行模块化设计,基本架构如图 1 所示。平台架构分为数据采集层、数据传输层、数据处理层、数据存储层、数据应用层五层,设计过程中多采用分布式架构,对处理性能扩展及列车控制中心远程监控列车网络通信具有借鉴意义。

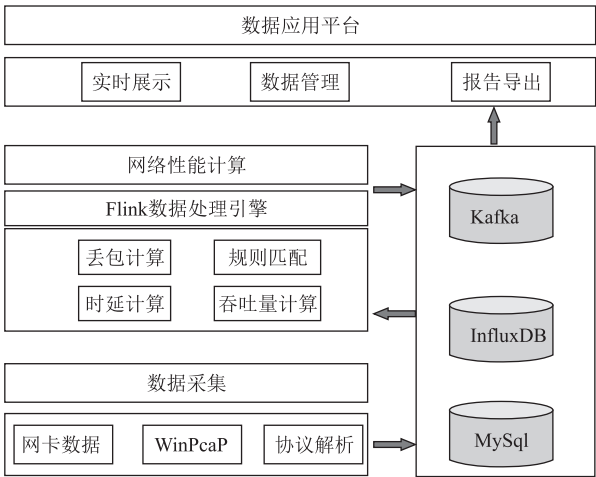


图 1 检测平台架构图

2.1 平台功能结构设计

根据用户需求分析,性能检测平台可细分为数据采集模块、性能指标计算模块和数据应用模块。其中,数据采集模块又可分为基本信息配置模块、网络流量采集模块和数据包解析模块,性能指标计算模块主要包括丢包计算、乱序计算、时延计算及吞吐量计算,数据应用模块又可分为数据实时展示模块、历史数据管理模块和监测报告导出等模块,功能架构如图 2 所示。

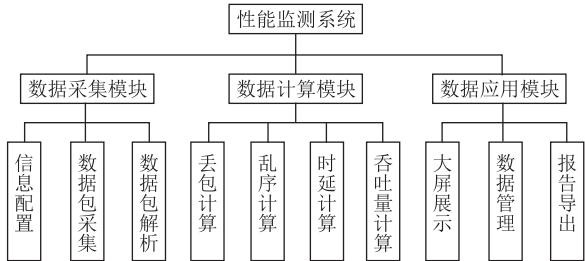


图 2 检测平台功能架构图

2.2 平台性能检测数据库设计

性能检测平台中的数据库主要用于存储列车通信网络中所产生和统计的数据,因此数据库设计的简洁性、易拓展性等特点对于平台十分重要,好的数据库设计能使平台更易进行更新和维护。在数据库设计过程中,首先根据需求分析确定实体关系(性能监测平台实体关系如图 3 所示),再根据实体关系设计数据库的概念模型,然后将概念模型转换为数据库的逻辑数据模型,最后将逻辑数据模型转换为更高级的物理数据模型。

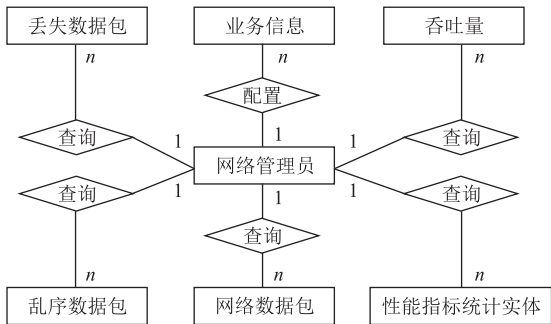


图 3 性能监测平台实体关系图

3 基于 TRDP 协议的动车组列车通信网络检测平台实现关键技术

动车组列车通信网络检测平台主要包含 TRDP 网络数据采集、网络性能计算、数据存储、统计结果应用等多个模块。

3.1 TRDP 网络数据包采集

平台采用 WinPcap 抓取网络数据包(数据类型为

十六进制 ASCII 码)后,首先将抓取的数据包数据转化为十六进制数据,然后直接解析出数据包的 Comid。目前,解析的数据包主要是基于 UDP 传输的过程数据,过程数据的 TRDP 数据包最大为 1 472 字节,在传输过程中不会产生 IP 数据报分片问题,因此可直接根据 TRDP 协议格式对网络数据包进行解析。解析过程中,平台会丢弃无法正确解析成 TRDP 协议的网络数据包。由于网络性能指标计算模块是根据 TRDP 网络数据包的序列号实现网络通信监测的,因此每类业务在传输及存储过程中均需保证顺序性。根据每类业务 Comid 的唯一性,将数据包存入不同的先进先出队列当中,存入队列之后,由对应进程解析出源 IP 地址、目的 IP 地址、Comid、序列号、消息类型、etbTopoCnt、opTrnTopoCnt、datasetLength 等数据包内容信息,并将信息赋值于数据包对象。业务流程如图 4 所示。

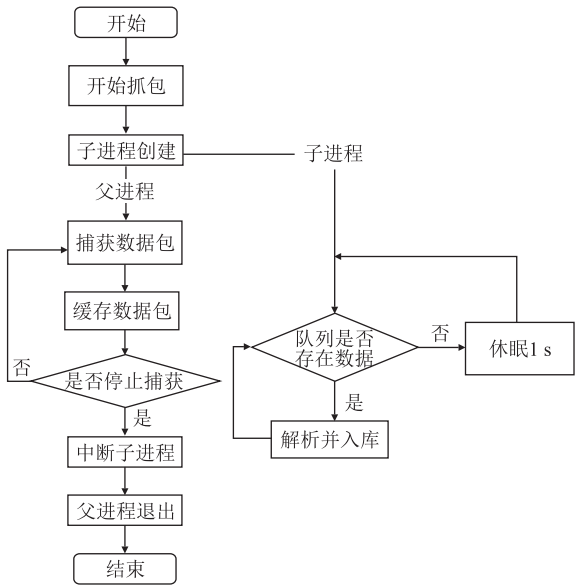


图 4 TRDP 网络数据包采集流程图

为避免出现数据包顺序错乱,解析后便将网络数据包存储到 Mysql 数据库当中,如此读取的网络数据包顺序便与采集的顺序一致。

3.2 性能指标计算

性能计算模块通过利用采集到的数据包对列车通信网络的性能进行实时计算,主要采用 Flink 数据处理引擎对 Mysql 的 BinLog 日志进行解析,将解析后的数据利用丢包、时延、乱序以及吞吐量的计算方法进行实时统计。数据采集模块的采样数据需存储到 Mysql 数据库中,因此,需要实现 Flink 与 Mysql 的整合。利用 Flink 的窗口机制、键值状态、水印等特性实现对基于 TRDP 协议的列车通信网络的实时性能计算,数据流处理的流程如图 5 所示。

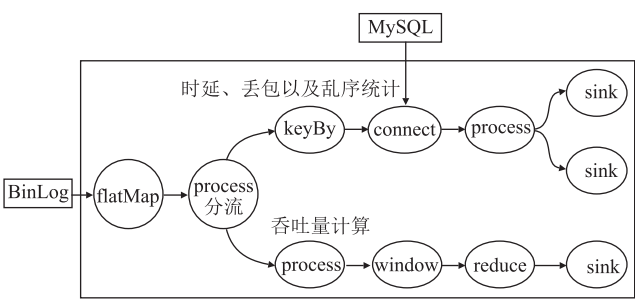


图 5 数据流处理流程图

以此为基础,使用 Flink 实时拉取 Mysql 中的日志消息,对列车以太网通信进行性能指标统计,分析当前通信链路各类业务的通信情况。对于异常信息,将数据存储到数据库的同时,也通过 Kafka 传输到应用层,应用层会对性能指标统计结果进行实时显示。

3.2.1 丢包与乱序计算

当第 N 个数据包到达时,首先与状态版本号进行比较,若小于当前状态版本号,则将该条数据丢弃。若大于当前版本号,则将其作为新版本号,此后流程同第一个数据包到达流程相同。对于相同的版本号,首先更新状态时间(定时器会使用该时间判断是否将状态中丢失的数据包进行输出),之后遍历缓存的丢失数据包,并对该数据包经过的数据包步长进行递增,对于经历的数据包步长大于给定值的,认为属于丢包,计算丢包率并与规则进行比对后,对其信息进行封装,存储于列表当中。在遍历判断数据包丢失的过程中,也会进行数据包的乱序计算,判断当前数据包的序列号在缓存的丢失数据包中是否存在,若存在则将其从缓存中移除,并将其标记为乱序数据包,更新乱序数据包状态统计的数量。

3.2.2 时延抖动与吞吐量计算

时延抖动与吞吐量都是网络性能检测的重要性能指标。时延抖动可确保列车网络管理员实时观察列车网络设备在运行过程中的异常抖动现象,其计算方式是以前一个到来的数据包的嗅取时间为标准,用当前数据包的时间减去前一个到来的数据包的时间后,与规则中的阈值进行比对,对异常情况进行标记。吞吐量的计算是将数据包嗅取的时间作为时间窗口的时间,利用 Assign Times Tamps And Watermarks 来定义生成水印的逻辑,通过为数据流设置滚动窗口,来统计每一秒中数据包总量的大小。

4 平台性能测试

平台的前端界面包含乱序、丢包、时延、吞吐量及数据包的实时显示等。

为保障基于 TRDP 的列车通信网络检测平台在真实运营场景中的适应性,需搭建具有高拟真度的测试环境对平台进行性能测试。测试环境的硬件部分由网络设备和计算设备组成。其中,网络设备主要通过无线路由器搭建小型局域网,实现标准的 TRDP 网络通信;计算设备用来进行软件环境部署,主要包括用于 TRDP 数据发送的计算机 1 台、用于数据采集、处理与展示的计算机 1 台。考虑本地计算机性能的局限性,利用 2 台阿里云网络服务器分别作为消息队列和时序数据库服务器。硬件配置如表 2 所示。

表 2 性能测试硬件配置表

名称	规格	说明
CPU	I5-8300H	系统处理器
内存	16 GB	提高系统响应
硬盘	1TSSD	存储数据
网卡	Realtek PCIe GbE Family Contrller	接收网络数据
路由器	AC2600 双频千兆路由器	搭建小型局域网

在性能测试阶段,为对网络数据包采集系统进行压力测试,并验证数据采集设备的采集能力,使用采集设备进行发包与捕获,同时开启 WireShark 抓取数据包。测试中,采用同时开启 80 个线程,以 5 ms 作为发送周期,发送长度为 1 432 字节的数据包来模拟列车设备发送的不同业务数据包,所发送数据包全部被收包设备的数据采集器捕获,测试结果如图 6 所示。

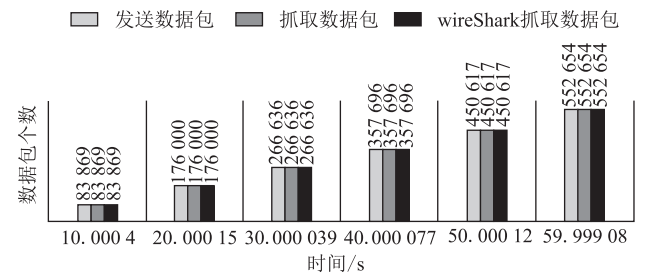


图 6 数据采集对比图

在网络性能计算模块中,以并行度 1 读取存储在 Mysql 数据库的 BinLog 日志,测试了 25 190 条数据在 Flink 处理引擎中处于不同并行度时的处理速度,分别以并行度 1、并行度 2、并行度 4 及并行度 6 执行网络性能统计的算子,对数据处理模块的处理速度进行测试,测试结果如图 7 所示。

5 结束语

本文设计了基于 TRDP 协议的列车通信实时检测

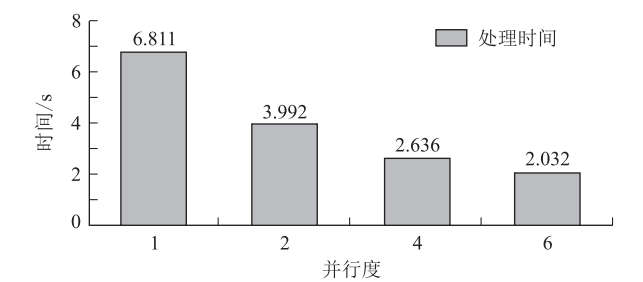


图 7 不同并行度计算速度比较图

平台,对列车网络进行长时间实时监测,分析列车通信网络中各类业务的通信状况,对出现的异常信息进行实时统计。该平台包括 TRDP 网络数据采集、性能指标计算、实时展示、数据管理及监测报告导出五大模块,对保障列车运行的安全性和可靠性具有重大意义,对以 400 km/h 高速动车组为代表的高速铁路技术的推广和应用具有重要的推动作用。

参考文献:

[1] LEE B H, WU H K. Study on a Delayed Backoff Algorithm for IEEE 802. 15. 4 Low-rate Wireless Personal Area Networks [J]. IET Communications, 2009, 3(7): 1089.

[2] 裴子秀. 基于以太网的列车通信网络性能研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

PEI Zixiu. Research on the Performance of Train Communication Network Based on Ethernet [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.

[3] 周洁琼. 基于交换式以太网的列车通信网络实时通信技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.

ZHOU Jieqiong. Real-time Communication Techniques of Train Communication Network Based on Switched Ethernet[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.

[4] IEC 61375-2-3:Electronic Railway Equipment-train Communication Network(TCN)-Part 2-3:TCN Communication Profile[S].

[5] 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.

TAN Wenju. The Performance Analysis of Topologies of Metro Train Based on Ethernet [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2017(1): 112-115.

[6] 李超. 列车 ECN 设备与 ETBN 节点通讯技术研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2017.

LI Chao. Train ECN Equipment and ETBN Communication Technology Research [D]. Dalian, China: Dalian Jiaotong University, 2017.