

CR300BF 中国标准动车组以太网控车技术研究

罗昭强 金 冲 韩东宁

(中车长春轨道客车股份有限公司高速动车组制造中心,130062,长春//第一作者,高级工程师)

摘 要 介绍了 CR300BF 中国标准动车组以太网网络控制系统的构成、拓扑结构,以及实现列车级和车辆级数据传输的管理。详细阐述了以太网交换机的方向及端口的定义,以及动车组如何实现互联互通、在单编组和重联编组情况下如何快速辨别标准动车组的主控端和方向等功能。

关键词 中国标准动车组; CR300BF; 以太网控车; 互联互通

中图分类号 U266.2; U279.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.02.028

Analysis of Ethernet-controlled Train Technology of CR300BF China Standard EMU

LUO Zhaoqiang, JIN Chong, HAN Dongning

Abstract The composition and topology of CR300BF China standard EMU Ethernet network control system and the realization of management of train-level and vehicle-level data transmission are introduced. The direction and port definition of the Ethernet switch are expounded. The functionality of how the EMU realizes interoperability and quickly identifies the main control terminal and direction of the standard EMU in the case of single marshalling and rejoining marshalling are elaborated.

Key words China Standard EMU; CR300BF; ethernet-controlled train; interoperability

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

网络监控系统是动车组的重要组成部分之一,它可以完成各个子系统之间的信息传输和共享,协调中央控制系统与各个子系统之间的控制,完成监督和故障判断任务,以及总结列车工作状态和运行

状况等。以太网技术因具备通信速率高、大带宽等特点,使得列车网络通信更加快速和安全。

1 中国标准动车组网络拓扑的概念

CR300BF 中国标准动车组两个头车均配置 2 个列车级以太网交换机 (ETBN),并且互为冗余;中间车配置 1 个以太网中继器,用于放大列车级以太网信号,增加传输距离;列车级以太网交换机和中继器具有断电旁路功能;每辆车内置 2 台车辆级以太网交换机,为设备提供冗余连接。列车以太网按使用用途划分为控制功能和维护功能,通过设定网络传输优先级保证了控制数据传输的可靠性。列车以太网按使用结构分为列车级网络和车辆级网络,列车级网络采用线性拓扑,2 条传输链路互为热备冗余,传输速度为 100 Mbit/s;车辆级网络采用环网结构,各车交换机之间通过链路聚合协议进行链路冗余连接,具有故障旁路功能,最高带宽可达 200 Mbit/s,链路聚合线路冗余切换时间为微秒级。为了方便设备的管理,需要对以太网交换机的节点方向和接口标志进行定义,具体定义如下:

1.1 ETBN 节点方向的定义

1(8)车 ETBN 方向中,1 指向列车 1(8)车端点,2 指向列车 8(1)车端点。中间车方向与相邻列车端点相同,同一单元内 ETBN 设置 UUID(通用唯一识别码)一致,且方向亦一致,两单元反面对称摆放。中间车方向信息通过配置文件的方式,配置在 ETBN 内存储,在列车级互联通信过程中进行传输数据。图 1 为列车节点方向定义。

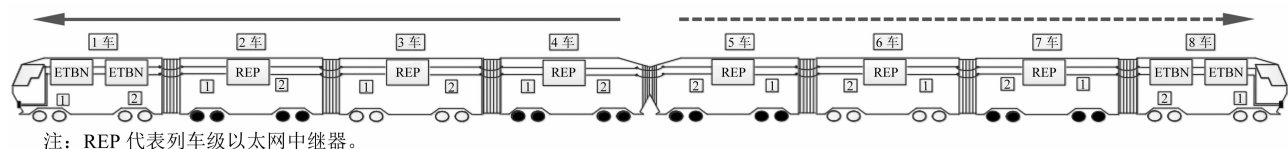


图 1 列车节点方向定义

1.2 ETBN 接口标志的定义

ETBN 具有端口聚合和 bypass(断电导通旁路)

功能,聚合线路标志为 A、B,表示 A 线、B 线,即:在方向 1 上使用 A1、B1 标注线路信息,在方向 2 上使

用 A2、B2 标注线路信息。A1 线路与 A2 线路间、B1 线路与 B2 线路间均为 bypass 功能。

2 中国标准动车组以太网网络控制系统的互联互通技术

CR300BF 中国标准动车组以太网网络控制系统中互联互通控制分为以太网网络初始化、以太网应用初始化、以太网服务端口一致性等 3 个部分。以太网网络初始化完成以太网的动态配置,相应列车级以太网拓扑变化,给每个 ETBN 交换机分配列车级以太网地址,建立 ETB(列车级骨干以太网)数据通信;以太网应用初始化指在以太网初始化后,基于以太网初始化的结果,由控制终端控制网络的节点索引、主控车的识别、方向识别和拓扑确认等;以太网服务端口一致性是指完成以太网初始化和应用初始化后,由以太网功能节点提供网络地址解析服务、拓扑变化通知服务等。

2.1 以太网网络初始化

2.1.1 以太网网络初始化的条件

以太网网络初始化的条件如下:①列车编组后且 ETBN 设备初次送电启动运行;②动车组重联时,列车级拓扑线路增加,网络拓扑中的 ETBN 数

目增加;③动车组解编时,列车级拓扑线路减少,ETBN 在列车级串行设备的中间位置丢失,更改拓扑并在 ETBN 丢失后重新计算拓扑,中间区域列车级以太网设备的上电时间比其他设备晚,导致插入延迟使拓扑结构发生变化。

2.1.2 以太网网络初始化的原则

列车级以太网网络初始化是列车级以太网网络自动配置的过程。当设备上电或列车组成设备改变,以及列车联挂或解编时,ETBN 设备要重新对列车级网络进行重组设定;在特殊情况下,如在降级运行模式(如 ETBN 丢失或延迟接入)下,可以选择锁定拓扑保证列车级 IP(互联网协议)地址分配的稳定。处于列车级的以太网 ETBN 通过计算、更新和分享拓扑信息,形成列车级网络配置,并由用户接口控制。在以太网网络初始化过程中,所有接入 ETB 的 ETBN 设备,通过特定列车拓扑发现协议(TTDP)报文,在整个列车以太网中确定接入的子网数量和 ETBN 接入数量,以此形成列车级 IP 映射、列车路由由配置、NAT(网络地址转换)规则和终端命名等信息;控制终端通过 TRDP(列车实时数据通信协议)中 ETBN 间的交互编组信息控制以太网初始化过程。图 2 为以太网网络初始化后重联示意图。

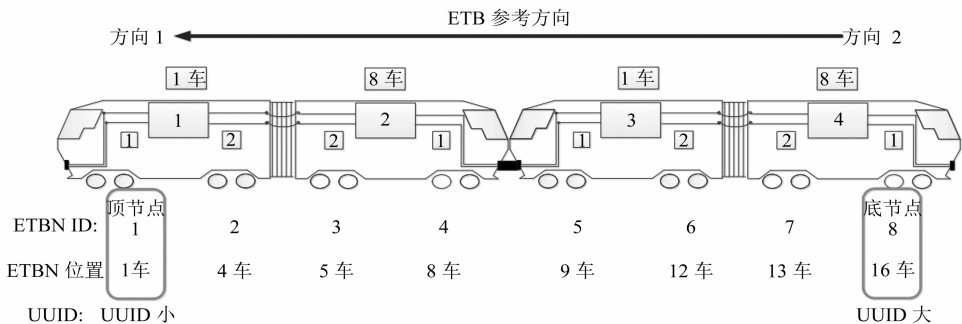


图 2 以太网网络初始化后重联示意图

以太网网络初始化过程遵循原则如下:将处于编组端点且小于另一编组端点的 UUID 的 ETBN 设备命名为顶节点;将 ETBN 顶节点的 ETBN ID(标志)设为 1;以顶节点为起点,在 ETB 方向 2 上依次升序设定 ETBN ID 直至另一端点,将除顶节点以外的另一端点命名为底节点;将 ETB 的参考方向规定为指向 ETBN 顶节点的方向。正常情况下,ETBN 节点处于平等位置,接入 ETB 中的所有 ETBN 通过共享 ETB 连接信息,自主协商生成 ETBN 顶节点,并按照连接关系形成整个拓扑。在整个拓扑中,ETBN 顶节点唯一,因顶节点的确定仅与端点的

UUID 关联,故中间 ETBN 的 UUID 改变并不会影响顶节点的位置改变。故可通过用户端口控制拓扑的启用,在不禁止拓扑发现协议的条件下,以太网网络初始化的过程不受其他条件影响。在列车重连和解编时,关闭用户端口控制拓扑的启用,使列车级网络自动进行配置。

2.1.3 以太网网络初始化的过程

在不禁止拓扑发现的条件下,以太网网络初始化的触发条件是:任何情况下,当 ETBN 内部存储拓扑结构与实际的列车信息不一致时,将激活列车级拓扑发现过程。经过不断地在 ETBN 之间实时共享和刷

新列车级网络拓扑信息,整个列车级网络中的设备将获得准确而全面的实时列车级拓扑信息。中国标准动车组以太网网络初始化过程应遵循 IEC 61375-2-5 TTDP 协议规定。初始化过程如下:上电或列车编组重联/解编;拓扑发现的报文分为 TTDP Hello 报文和 TTDP Topology 报文两类,正常状态下发送周期为 100 ms;将所有 ETBN 均设置为允许初始化(上电后默认允许),通过拓扑发现过程,最终确定 ETBN 顶节点。顶节点 ETBNID 设置为 1,其他节点依次命名 ETBN ID,直至拓扑稳定,最终完成以太网网络初始化。当初始化结束后,每个节点都应获得以下信息:①是否为 ETBN 主设备;②与 ETB 的方向是同向还是反向;③节点地址;④节点数量;⑤底节点地址;⑥顶节点地址。

2.2 以太网应用初始化

以太网网络初始化完成后,以太网应用初始化基于以太网网络初始化的结果,识别主控操作指令,进行以太网应用初始化。以太网应用初始化包括节点排序、方向识别、主控车节点识别等。

2.2.1 节点排序

CR300BF 中国标准动车组重联后,以太网网络初始化结束,将存在两种 ETB 节点地址序列,分别为 1-2-3-4 和 4-3-2-1。在以太网网络初始化后,由于主设备随机产生在编组端点,可将拥有 UUID 较小的 ETB 节点端点设备定义为地址起始节点,并作为主设备。

2.2.2 方向识别

当确定主控车后,所有从控车必须确定与主控车的方向是否一致,并确定从控车的列车方向。方向辨别的原则是:①以 ETB 主装置的方向为列车参考方向,ETB 初始运行后,所有节点均应明确节点本身与 ETB 主设备的方向是否一致。②明确主控车后,主控车参照 ETB 主设备方向,方向信息包含 ETB 过程数据,并告知所有从控车。③将从控车相对于 ETB 主设备的方向与列车参考方向进行比较,如果方向一致,判定为与主控车方向相同;如果方向不一致,判定为与主控车方向相反。④当激活司机室状态发生改变时,重新辨别相对方向,从控车储存辨别后的方向信息;如果从控车与主控车比较方向相同,则主控车发出正向命令时,TCU 接收到正向命令;如果从控车与主控车比较方向相反,则主控车发出反向命令时,TCU 接收到反向命令。

2.2.3 主控车节点识别

动车组占用主控车辆时,主控车发布控制命令,如发送整列车的牵引和制动等命令。只有在辨别了主控车之后,列车才具备接收驾驶室操作命令。主控车辨别的原则是:列车仅占用 1 辆车,该列车占用的车辆成为主控车,否则列车不生成主控车;当从控车检测到有多个主车辆时,该主控车被认为是无效的;将钥匙仅插入 1 辆车并进行占用,车辆便会辨别出主控车,当车辆钥匙已被激活且车辆成为主控车时,其他车辆钥匙也激活,此时,判断为主控车无效,列车没有主控车;当列车处于联挂和解编状态时,处于联挂和解编的两个头车允许成为主控车,其他任何条件下,不允许中间两节车辆成为主控车。由于列车在返程或其他工作条件下,主控车的位置需要频繁更改,此时主控车的辨别是一个动态变化的过程;主控车的更换不会引起初始化操作,但会导致主控车在初始化操作期间主控车辨别和方向辨别发生变化。主控车节点辨别在初始化后,节点数目正确或个别设备异常时,将 ETBN 转换位置映射到车辆的实际位置。采用节点索引所有 ETB 节点的列车级以太网网络初始化后,需要对初始化数据的来源位置进行识别。在数据中加入位置信息,以确定 ETB 节点发出的列车级以太网网络初始化数据与车辆实际位置的对应关系。

3 结语

本文介绍了 CR300BF 中国标准动车组以太网网络初始化的条件、原则、过程及结果;详细阐述了当列车进行单编组和重联编组时可完成的以太网应用初始化,包括节点排序、主控车节点排序、方向识别,以及在单编组、重联编组,以及占用主控端、占用重连端司机室、换端状态下相应的变化。以太网技术作为列车网络通信技术的新趋势,未来将广泛应用于轨道车辆控制系统。

参考文献

- [1] 李元轩. 列车级以太网拓扑发现协议的实现研究[J]. 铁道机车车辆,2017(2): 24.
- [2] 徐燕芬,薛树坤,朱游龙. 时速 250 km 标准动车组以太网控车技术研究[J]. 铁道车辆,2020(2): 9.
- [3] 陈野翔. UIC 网关初运行和过程数据编组的设计与实现[D]. 北京:北京交通大学,2015.

(收稿日期:2020-09-05)