

# 基于多功能车辆总线的网络自适应重组技术方案<sup>\*</sup>

王华伟<sup>1</sup> 高 阳<sup>1</sup> 李洋涛<sup>2</sup> 刘国梁<sup>1</sup>

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春;

2. 中国铁道科学研究院集团有限公司机车车辆研究所, 100081, 北京 // 第一作者, 正高级工程师)

**摘 要** 在城市轨道交通列车通信网络技术领域, 通过 WTB (绞线式列车总线) 来实现车辆编组变化而进行的网络重组是常用的技术方案。为了实现基于 MVB (多功能车辆总线) 的网络重组, 从网络重组的连接方式、自适应网络系统功能、配置过程、MVB 组网控制装置及 MVB 动态地址分配等方面, 详细阐述了多功能车辆总线的网络自适应重组技术方案, 并从自适应组网控制单元的功能出发, 对网络自适应重组技术方案进行检测验证。检测验证结果表明, 基于 MVB 的网络自适应重组技术方案能较为便利地实现对车辆的组网控制, 能解决多单元车辆网络组网的关键问题, 灵活地配置列车通信网络系统。

**关键词** 城市轨道交通; 列车通信; 网络自适应重组; 多功能车辆总线

**中图分类号** U231. <sup>+</sup>7

**DOI**:10. 16037/j. 1007 - 869x. 2023. 04. 022

## Network Auto-adaptive Reorganization Technology Based on Multifunction Vehicle Bus

WANG Huawei, GAO Yang, LI Yangtao, LIU Guoliang

**Abstract** In the technical field of urban rail transit train communication network, network reorganization through WTB (wire train bus) to realize vehicle marshalling change is a commonly adopted technical scheme. In order to realize the network reorganization based on MVB (multifunction vehicle bus), the technical scheme of network auto-adaptive reorganization of MVB is expounded from aspects including connection mode of network reorganization, functionality of auto-adaptive network system, configuration process, MVB networking control device and MVB dynamic address allocation. The technical scheme of network auto-adaptive reorganization is tested and verified from the function of auto-adaptive networking control unit. The test results show that the MVB-based network auto-adaptive reorganization technical scheme can conveniently realize the vehicle networking control, solve the key problems in

the networking of multi-unit vehicle networks and configure flexibly the train communication network system.

**Key words** urban rail transit; train communication; network auto-adaptive reorganization; multifunction vehicle bus

**First-author's address** National Engineering Research Center of Railway Vehicle, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

TCN (列车通信网络) 技术采用 IEC 61375 系列国际标准, 多通过 WTB (绞线式列车总线) + MVB (多功能车辆总线) 的两级结构来实现对列车通信网络的控制, 通过 WTB 总线来实现车辆编组变化而进行的网络重组是常用的技术方案。两级总线间通过 WTB 网关进行连接<sup>[1-2]</sup>。传统 MVB 总线不具有网络重组功能, 而 WTB + MVB 两级总线结构比较复杂, 研究 MVB 网络重组方案具有现实意义<sup>[3]</sup>。本文研究了城市轨道交通车辆网络自适应控制系统的实现方案, 对传统的 MVB 网络构建方案进行重新设计, 给出实现自适应组网的架构及软件流程, 同时定义一套基于 MVB 的、自适应组网的列车级通信协议及车辆编组协议, 从而实现基于 MVB 的网络自适应重组。

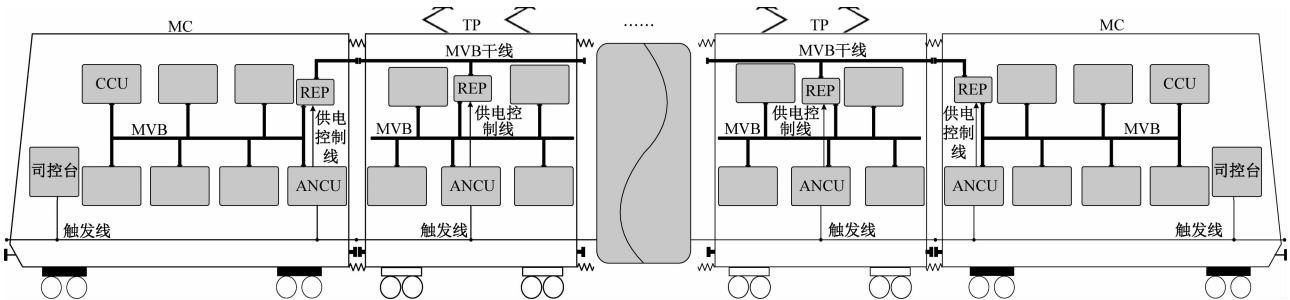
## 1 MVB 重组网络技术方案的设计

城市轨道交通车辆自适应网络系统的网络拓扑需按特定的结构进行布置, 其列车级通信采用 MVB 总线进行连接。列车由不确定数量的特定类型车辆搭配组合而成, 并由每个车辆内的网络设备共同构成 1 个 MVB 网段, 通过本段内的中继器连接到 MVB 干线上。在每个 MVB 网段内, 有可组织网络配置的 ANCU (自适应组网控制单元)。列车有自适应组网的触发机制, 每个 MVB 网段的 ANCU 均可采集触发信号状态, 从而进行自适应组网

<sup>\*</sup> 中国国家铁路集团有限公司重大课题 (K2021J048)

配置。

典型的自适应网络系统拓扑结构如图 1 所示。



注:MC—带司机室的动车;TP—带受电弓的拖车;REP—中继器;CCU—中央控制单元。

图 1 自适应网络系统拓扑结构示意图

Fig. 1 Diagram of auto-adaptive network system topology structure

1.1 ANCUC 功能

ANCUC 是自适应网络系统的核心控制部分,也是车辆自适应组网的实现载体,具有自适应触发信号采集、车辆编号信息采集、网段中继器控制及自适应组网管理功能,能控制网段隔离和重构。CUU 负责整车控制功能,具备 MVB 总线管理功能,可在自适应组网过程中充当总线管理器。任意 MVB 网络节点均可集成 ANCUC 功能。在每个 MVB 网段组网的过程中,必须有且仅能有 1 个 ANCUC 被激活<sup>[4]</sup>。

在 MVB 网络中,采用 MVB 中继器来实现信号的再生和放大,进而提高传输能力。MVB 中继器将整个列车网络分隔成若干个 MVB 网段。可通过中继功能的通断来实现 MVB 网段之间的隔离与连接。

ANCUC 集成实现了中继器功能、总线管理功能及组网控制逻辑,具备了动态组网的主控功能。车辆系统无需增加额外的线路布置,通过 ANCUC 即可更为便捷地实现自适应组网控制系统。

1.2 自适应网络系统功能

自适应网络系统具备以下功能:

- 1) 具备自适应组网能力。在将若干类型的车辆单元编组时,在操作人员发起配置指令后,自适应网络系统能自动建立全列车的 MVB 网络配置。
- 2) 配置 ANCUC,能控制单元主导系统的自适应组网过程。
- 3) 通过端车司机台的按键操作触发配置过程。触发信号通过网络传递到各车厢。各车厢的自适应组网单元可采集配置触发信号。
- 4) 通过控制中继器功能的关断,可将拓扑结构转为若干个独立的 MVB 网段。各网段在 ANCUC 的

控制下进行自适应组网。

5) 有完整的自适应组网协议,能够按协议规定的流程进行自适应组网的过程。

6) 所有 MVB 网络节点能实现自适应组网过程。

7) 完成 MVB 网络的自适应组网后,若未再次触发组网过程,则列车通信网络系统设备上电后按照上一次的配置进行初始化。

1.3 配置过程

自适应网络系统的配置过程如下:

- 1) 操作人员通过司机室 HMI(人机界面)按键给出自适应组网命令,ANCUC 通过采集组网信号获取自适应组网命令。
- 2) ANCUC 采集拨码器配置信息,获取车辆位置号、车辆类型及车辆行驶方向,并通过这些数据来确定其自身的设备地址及其所处网段的配置端口号。
- 3) ANCUC 通过配置端口号发送配置数据,并发送特定的“配置运行状态”位置信息,告知网段所有节点设备进入配置状态。
- 4) ANCUC 通过其相应的硬件输出引脚来切断其 MVB 中继器的供电,从而将 MVB 网段从骨干网隔离。
- 5) ANCUC 启动及上电进入到配置模式。
- 6) ANCUC 重置其设备地址。
- 7) ANCUC 通过配置端口发布配置请求,以及车辆位置号、车辆行驶方向等信息。网段内所有节点接收所有可能的配置端口数据。由于网段已从骨干网隔离,故只能收到网段内 ANCUC 的端口数据。网段内所有设备按照该端口信息来进行重新配置。节点的过程数据、端口及设备地址均按照预设的规

则进行计算。

8) 网段的 ANCU 及其他节点计算的设备地址及端口等配置信息保存于本地非易失性存储空间内,以便在重新启动后仍可用。

9) 网段内所有从节点设备重新按照计算的配置信息进行初始化配置,并进入常规工作模式。

10) ANCU 读取接收到设备状态帧,从而确认是否所有设备均完成了配置。如果所有设备均已完成配置,则将其配置请求位清除;如果配置有误,则将在配置端口中报告错误信息。

11) 确认所有设备均已正确配置后,ANCU 停止总线管理功能,并重新启动,按配置信息完成初始化,上电进入常规模式。

12) ANCU 完成自身配置后,再次给 MVB 中继器上电,并将复位配置端口报文中的“状态配置运行”信息清除。至此,建立了全列的 MVB 网络通信,中央控制单元及司机显示屏等通过接收 ANCU 发布的配置信息确认车辆拓扑,最终完成自适应组网。

#### 1.4 MVB 组网控制装置

在 IOM(输入输出模块)原有的功能上集成 ANCU 功能。IOM 是一种用于采集车辆数字量输入信号,并具有数字量输出信号功能的装置。采用 IOM 进行 ANCU 的主要原因有:

1) 每个网段均布置了 IOM,能满足 ANCU 需配置于每个网段的要求。集成 ANCU 功能后的 IOM 具有统一性和通用性。

2) 可方便地采集自适应组网触发信号,便于控制中继器的供电电源。

3) MVB 网卡可升级为具备总线管理功能的网卡,实现总线管理。

4) IOM 通常通过外部拨码或电源连接器跳线的形式来设置车辆号,便于获取车辆位置编号、车辆类型及车辆行驶方向等信息。

在自适应组网控制系统中,每节车形成自身的 MVB 网段。每节车的 MVB 网段通过中继器与 MVB 主干网相连,连接各中继器的 MVB 网络构成 MVB 主干网。每个网段都配备有 ANCU,通过令牌传递轮作为总线管理器。

当 1 个子系统设备第一次接入 MVB 网络时,或当子系统刷新软件、更换所在车辆位置时,均需再次进行 MVB 配置来获取 MVB 地址。当进行 MVB 配置时,子系统需接入 MVB 网络并处于运行

状态。

自适应组网系统的组网配置发起后,由 ANCU 将各网段隔离,并控制子网段配置报文的发送;待各网段内子系统收到配置报文并重新完成设备配置后,ANCU 重新连接网络,实现自适应组网功能。

为实现自适应组网功能,总线管理器还必须具备以下功能:

1) 主权转移功能。该功能可实现多个总线管理器对总线控制主权的轮替,使同一时刻总线上有且只有 1 个总线管理器在调度,并在多个总线管理器之间实现轮转。

2) 组网拓扑诊断功能。该功能可依据设备状态帧的线路监控及诊断功能而实现。

自适应组网的网络拓扑构成情况复杂。若要实现总线管理功能,必须有与网络拓扑相对应的总线调度表<sup>[5]</sup>。实现总线调度表的方案有以下几个:

方案 1 列举所有网络拓扑构成的情况,生成不同的总线调度表文件,并存储于总线管理器内。总线管理器根据自适应组网后的具体拓扑情况,查找相应的总线调度表文件,并按文件进行总线调度。

方案 2 按照覆盖所有情况的最大集合,生成相应的总线调度表文件,并存储于总线管理器内。总线管理器按最大集合进行总线调度。

方案 3 总线管理器在完成自适应组网后,根据车辆拓扑,动态计算,并生成总线调度表,存储于总线管理器内。当未发生新的自适应组网时,按该总线调度表进行总线调度。

以上 3 个方案中:方案 1 需要存储多种配置文件,适用于变化情况较少的项目;方案 2 的实现简便,但方案的实施受 MVB 端口容量的限制,适用于端口总数较少的情况;方案 3 可更好匹配自适应组网的需要,与前两方案相比,方案 3 存储要求低、总线调度效率高,但该方案软件设计相对复杂。由此可见,3 个方案各有优劣,自适应组网总线的调度方案应综合考虑项目特点及需求。

#### 1.5 MVB 动态地址分配

自适应网络系统使网络结构更加简单,不需要额外的通信协议转换。每个 MVB 设备仅需要基本配置文件,而不需要考虑因车辆位置不同导致的其他所有可能配置。

MVB 设备的基本配置文件中存有设备的相对地址。列车配置后,相对地址根据车辆位置号偏移为绝对地址<sup>[6]</sup>。

配置过程:首先,ANCU 通过组网信号输入确定所在单元,并根据配置文件内的信息确定其所在的具体车厢;随后,所有 ANCU 通过网络信号同步接受配置请求,并通过 ANCU 数字输出模块关断中继器功能,将各网段隔离;然后,各网段 ANCU 发送配置报文给相应网段的子系统;最后,子系统根据报文中的车辆位置信息,计算出设备地址和端口的偏移量。整个配置过程需在特定的时间内完成。自适应组网配置过程示意图如图 2 所示。

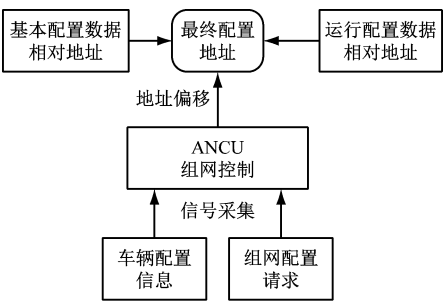


图 2 自适应组网配置过程示意图

Fig. 2 Diagram of auto-adaptive networking configuration process

1.5.1 动态地址分配说明

以 TCU(牵引控制单元)系统为例,按动态地址分配的自适应组网子系统配置流程如图 3 所示。

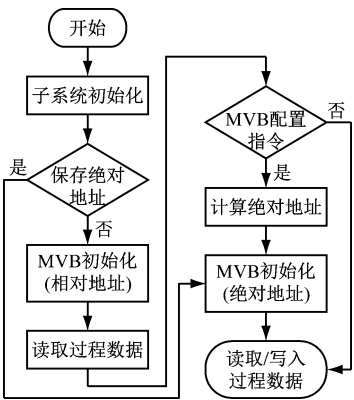


图 3 自适应组网子系统配置流程

Fig. 3 Auto-adaptive networking subsystem configuration process

图 3 中,子系统初始化包含 MVB 的初始化。在 MVB 的初始化程序中,宿端口配置由本地存储在非易失性 Flash(闪存)中的相对地址与偏移地址相加后得到。每次开机后,重新配置的相对地址会被新的偏移地址替代。

1.5.2 固定地址分配说明

以主 CCU(通信主控制器)为例,说明目前不响

应自适应组网动态地址分配原则的子系统的地址配置方式。

在列车通信网络系统中一般只有 1 个主 CCU。因此,主 CCU 根据列车通信网络系统内部地址来自动分配端口地址,无需重新配置。主 CCU 的通信端口地址完全一致,不受具体位置限制<sup>[7]</sup>。

1.5.3 地址分配

自适应网络系统的地址可分为绝对地址、相对地址及偏移地址。按照最大支持 16 辆编组进行规划,地址分配方法如下:

1) 绝对地址分配方法。在自适应网络系统中,ANCU 分配的固定端口地址和设备地址即为绝对地址。此外,如果设备不需要通过自适应组网来分配地址,其地址按预先规划,不再发生变动,则该情况下的设备也采用绝对地址。各车辆分别配置 1 个绝对地址。该绝对地址信息包含配置请求、配置启动、配置禁止、配置完成、网段设备数及网段设备地址列表。

2) 相对地址及偏移地址的分配方法。在自适应组网过程中,各子系统及设备需根据所处的车辆位置来动态计算其分配的地址,其计算过程会用到相对地址和偏移地址。相对地址为设备相对于各子系统的对应地址。每个特定类型的设备都具有特定的端口相对地址和设备相对地址。偏移地址为子系统及设备根据车辆位置及车辆类型综合给定的一个偏移量。根据偏移地址和相对地址的累加,即可最终得到子系统设备所需的实际地址。可见,相对地址与偏移地址是组合使用的。

2 网络自适应重组技术方案的测试验证

在网络自适应重组中,ANCU 的核心功能是发起自适应组网过程、重新配置子节点组网及构建整网<sup>[8-9]</sup>。为验证网络自适应重组方案的可行性,需从 ANCU 的核心功能出发进行测试<sup>[10]</sup>。测试内容包括单节点配置功能测试及最小系统组网测试。

1) 单节点配置功能测试。通过 ANCU 发起组网配置,并分别按 2 个车辆单元进行配置测试。通过分析仪检测网络配置情况,检查子系统设备端口及地址配置情况。

2) 最小系统组网测试。按照自适应组网协议构建测试环境,并选取 2 个车辆的 CCU、IOM 及 TCU 构成最小系统进行组网测试。通过外部开关

控制最小系统组网发起。将最小系统的 2 个车辆单元分别配置为相应的端口及设备地址。通过分析仪检查网络配置情况,验证网络端口及地址配置。

具体检测过程如下:

- 1) 通过 ANCU 发起组网配置,通过配置端口发送配置信息,查看子系统 (TCU、IOM 等) 的地址配置行为。
- 2) 组网开始,将 2 节车分别设置为 00 车及 01 车。
- 3) 检查 00 车自适应组网配置端口发送配置信息是否正常。00 车网段配置端口发送的配置数据如图 4 所示。图 4 中:配置端口 4080 在 ANCU 发起组网配置后,发送了配置信息;在发送配置信息 3 s 后,即停止发送,以防止子系统多次重新配置;子系统重新配置成功后,配置端口数据发送恢复正常。
- 4) 检查 00 车子系统端口是否正常。00 车网段子系统端口发送的配置数据如图 5 所示。图 5 中,TCU 及 IOM 的端口 (640 端口和 768 端口) 进行

了重新配置: 640 端口和 768 端口在子系统重新配置前无数据发送,在重新组网后端口开始发送数据。

序号	端口	地址	错误	中断	相对时间 (μs)	数据
1	4	4080	000000	SFC	917,585	
2	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
3	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
4	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
5	4	4080	000001	RTI	1,023,838	0003 0001 0002 0003 0004 0005 0006 0007 0008 0009 000A 000B 000C 000D 000E 000F
6	4	4080	000000	SFC	1,034,164	0003 0001 0002 0003 0004 0005 0006 0007 0008 0009 000A 000B 000C 000D 000E 000F
7	4	4080	000000	SFC	1,024,001	0003 0001 0002 0003 0004 0005 0006 0007 0008 0009 000A 000B 000C 000D 000E 000F
8	4	4080	000000	SFC	1,024,002	
9	4	4080	000001	RTI	1,023,837	
10	4	4080	000001	RTI	1,024,001	
11	4	4080	000001	RTI	1,024,001	
12	4	4080	000001	RTI	1,024,001	
13	4	4080	000000	SFC	1,024,165	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
14	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
15	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
16	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
17	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
18	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
19	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
20	4	4080	000001	RTI	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
21	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
22	4	4080	000000	SFC	1,024,001	P9FE B8FE 6064 FFFF 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000

图 4 00 车网段配置端口发送的配置数据截图

Fig. 4 Screenshot of configuration data sent by 00 vehicle network segment configuration port

- 5) 检查 01 车子系统端口是否正常。01 车网段子系统端口发送的配置数据如图 6 所示。图 6 中,TCU 及 IOM 的端口 (648 端口和 784 端口) 进行了重新配置: 648 端口和 784 端口在子系统重新配置前无数据发送,在重新组网后端口开始发送数据。

序号	端口	地址	错误	中断	相对时间 (μs)	数据
190	4	640	000001	RTI	31,837	
191	4	640	000001	RTI	32,000	
192	4	640	000001	RTI	32,164	
193	4	640	000001	RTI	32,000	
194	4	640	000001	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
195	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
196	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
197	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
198	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
199	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
200	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
201	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
202	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
203	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
204	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
205	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
206	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
207	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
208	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
209	4	640	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF

a) 640 端口的配置数据

序号	端口	地址	错误	中断	相对时间 (μs)	数据
191	4	768	000001	RTI	31,837	
192	4	768	000001	RTI	32,000	
193	4	768	000001	RTI	32,000	
194	4	768	000001	RTI	32,000	
195	4	768	000000	SFC	32,164	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
196	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
197	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
198	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
199	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
200	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
201	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
202	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
203	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
204	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
205	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
206	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
207	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
208	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
209	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
210	4	768	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF

b) 768 端口的配置数据

图 5 00 车网段子系统端口发送的配置数据截图

Fig. 5 Screenshot of configuration data sent by 00 vehicle network segment subsystem port

序号	端口	地址	错误	中断	相对时间 (μs)	数据
264	4	648	000001	RTI	31,837	
265	4	648	000001	RTI	32,000	
266	4	648	000001	RTI	32,000	
267	4	648	000001	RTI	32,000	
268	4	648	000000	SFC	32,164	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
269	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
270	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
271	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
272	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
273	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
274	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
275	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
276	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
277	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
278	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
279	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
280	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
281	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
282	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
283	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
284	4	648	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF

a) 648 端口的配置数据

序号	端口	地址	错误	中断	相对时间 (μs)	数据
264	4	784	000001	RTI	31,837	
265	4	784	000001	RTI	32,000	
266	4	784	000001	RTI	32,000	
267	4	784	000001	RTI	32,000	
268	4	784	000000	SFC	32,164	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
269	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
270	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
271	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
272	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
273	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
274	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
275	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
276	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
277	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
278	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
279	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
280	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
281	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
282	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
283	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF
284	4	784	000000	SFC	32,000	FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF FFFF

b) 784 端口的配置数据

图 6 01 车网段子系统端口发送的配置数据截图

Fig. 6 Screenshot of configuration data sent by 01 vehicle network segment subsystem port

检查自适应组网过程中定义的拓扑诊断端口 (90 端口)。拓扑诊断端口变化截图如图 7 所示。由图 7 可见,诊断端口的相应位置情况也随着组网过程发生了变化,表明 ANCU 检测到网络拓扑的

变化。  
测试结果表明, ANCU 可主导实现与子系统单节点、车辆单元及最小系统的组网控制,各功能均正常。由此可见,本文设计的自适应组网方案可行。

序号	F码	地址	错误	中断	相对时间 (μs)	数据			
180	15	81	000001	RTI	7,930				
181	15	96	000001	RTI	472,070				
182	15	90	000000	SFC	7,948	7BFD	FBFD	6040	FFFF
183	15	98	000001	RTI	69				
184	15	144	000001	RTI	7,914				
185	15	145	000000	SFC	7,985	0040			
186	15	495	000001	RTI	8,084				
187	15	719	000001	RTI	7,931				
188	15	32	000001	RTI	477,070				
189	15	90	000000	SFC	7,984	7BFD	FBFD	6040	FFFF
190	15	63	000001	RTI	69				
191	15	4081	000001	RTI	3,913				

图 7 拓扑诊断端口的变化截图

Fig.7 Screenshot of topology diagnostic port changes

3 结语

本文基于 MVB 的自适应组网技术,规划了组网协议及流程,最终搭建了自适应组网系统,并验证了方案的可行性。采用 MVB 单一结构来实现重新组网的控制,能降低自动组网的技术复杂度,对既有系统的硬件改造较少,甚至通过选用恰当的方案将硬件改动降为最低。

本文的研究内容给城市轨道交通列车通信网络组网增加了新的方案选择,具有现实应用意义。

参考文献

[ 1 ] 倪文波,王雪梅. 高速列车网络与控制技术[M]. 2 版. 成都:西南交通大学出版社,2010.  
NI Wenbo, WANG Xuemei. High-speed train network and control technology[M]. 2nd ed. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010.

[ 2 ] 黄秀川,何成才. 动车组网络技术[M]. 2 版. 成都:西南交通大学出版社,2018.  
HUANG Xiuchuan, HE Chengcai. Network technology of EMU [M]. 2nd ed. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2018.

[ 3 ] 张潜. CRH2 动车组上应用 MVB-M 网络的可行性论证[J]. 机电信息, 2017(30): 127.  
ZHANG Qian. Feasibility demonstration of applying MVB-M network on CRH2 EMU[J]. Mechanical and Electrical Information,

2017(30): 127.

[ 4 ] 陶艳. 列车网络控制技术原理与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2010.  
TAO Yan. Principle and application of train network control technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.

[ 5 ] 王磊. 动车组网络控制系统与故障诊断[J]. 信息系统工程, 2020(1): 39.  
WANG Lei. Network control system and fault diagnosis of EMU [J]. China CIO News, 2020(1): 39.

[ 6 ] 杨宇芳,赵鹏. 可变编组动车组客货混用可行性研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(2): 6.  
YANG Yufang, ZHAO Peng. A feasibility study on mixed EMU trains with variable formations[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(2): 6.

[ 7 ] 杜朋洁,董利芳,张闯,等. 某型地铁列车控制及监视系统拓扑结构及调试方法[J]. 中国高新技术企业, 2016 (36): 121.  
DU Pengjie, DONG Lifang, ZHANG Chuang, et al. Topology structure and commissioning method of a metro train control and monitoring system [J]. China High-Tech Enterprises, 2016 (36): 121.

[ 8 ] 禹丹丹,韩宝明,张琦,等. 基于灵活编组的轨道交通列车开行方案优化方法[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39 (6): 21.  
YU Dandan, HAN Baoming, ZHANG Qi, et al. Optimization method for train plan of urban rail transit based on the flexible length of train formation[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2015, 39(6): 21.

[ 9 ] 宫文平,李博. 国内外灵活编组动车组发展[J]. 国外铁道车辆, 2015, 52(2): 34.  
GONG Wenping, LI Bo. Analysis of the development of flexibly marshalling EMUs in China and foreign countries[J]. Foreign Rolling Stock, 2015, 52(2): 34.

[ 10 ] 熊力,沈立伟,丁立卿,等. 论可变编组动车组在京津冀交通圈中的应用[J]. 现代城市轨道交通, 2017(8): 1.  
XIONG Li, SHEN Liwei, DING Liqing, et al. Practice of variable configuration of EMU in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Modern Urban Rail Transit, 2017(8): 1.

(收稿日期:2022-08-01)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com