

一种 Hash 散列地址过滤的车载 AVB 虚拟通信方法

徐晓林^{1,2}, 秦宗光^{1,2}, 赵毅栋^{1,2}

(1.郑州科技学院,郑州 450064; 2.宇通客车股份有限公司,郑州 450000)

摘要:以太网音视频桥接(AVB)通信过程中涉及大量数据,每包 AVB 数据多达几千个字节,当无人驾驶车辆以域进行划分时,各域间系统通信由于 AVB 数据量巨大和传输速度快导致传递给决策层的数据庞大且处理效率极低,而实际上决策层仅需处理 AVB 中有效载荷数据。为确保决策层所需有效数据仅是每包 AVB 有效数据,采用 Hash 散列地址过滤算法和改进的滑动窗口算法来提取有效载荷数据,并通过一种虚拟通信和实体通信方法将剥离后的有效数据发送至决策层。该方法有效减少了决策层无效数据处理量,提高了有效数据处理效率并满足实时性要求。

关键词:车载以太网音视频桥接;Hash 散列地址过滤;改进滑动窗口;虚拟通信和实体通信

中图分类号: TN91; TP3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2022)06-0086-06

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2022.06.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Vehicle mounted AVB virtual communication method with Hash address filtering

XU Xiaolin^{1,2}, QIN Zongguang^{1,2}, ZHAO Yidong^{1,2}

(1. Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450064, China; 2. Yutong Bus Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Audio video bridging (AVB) communication process involves a large amount of data, and each packet of AVB data can reach thousands of bytes. When unmanned vehicles are divided by the concept of domain, the communication between domain systems will cause the huge amount of datas transferred to the decision-making layer and the extremely low processing efficiency due to the huge amount of datas transmitted by AVB and the fast transmission speed, the actual decision-making layer only needs to process the payload datas in the AVB. In order to ensure that the effective datas required for decision-making layer are only the effective datas of each packet of AVB, design a Hash address filtering algorithms and improved sliding window algorithms to extract the payload datas, and use a virtual communication and physical communication method to strip the proposed effective the data is sent to the decision-making layer. This method reduce the amount of datas processing at the decision-making layer effectively, improved its datas processing efficiency, and meet its datas real-time processing requirements.

Key words: vehicle audio video bridging, Hash address filtering, improved slidng window, virtual communication and physical communication

0 引言

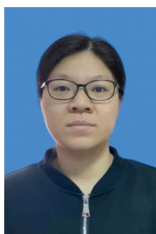
现有车载网络在引入信息娱乐系统和基于视频的高级驾驶辅助系统(ADAS)后,其传输带宽不足的问题逐渐凸显出来,因此新一代车载网络技术应运而生。以

太网音视频桥接(AVB)技术是一项新的 IEEE 802 标准技术,其在传统以太网络的基础上,通过保障带宽、限制延迟和精准时钟同步,建立高质量、低延迟和时间同步的以太网络,适用于具有实时性和容错性的应用场景。车载 AVB 通信在实际传输中的每包 AVB 数据多达几千个字节,根据无人车辆 EE 架构特点,当划分为不同域间系统进行通信时,由于以太网传输数据量巨大且传输速度快,每包 AVB 数据均包含以太网帧头、帧尾、目的/源地址、校验及计数等大量与决策层不相关的数据,增加了决策层的无效数据处理量,降低了其数据处理效率。为解决以上问题,本文采

收稿日期:2021-12-30。

基金项目:河南省高等学校重点科研项目计划(项目编号:23B510009)资助。

作者简介:徐晓林(1983—),女,硕士研究生,工程师,主要研究方向为无人驾驶计算平台、物联网通信。获得国家授权专利 8 项,其中发明专利 2 项,实用新型专利 6 项。



用一种 Hash 散列地址过滤及滑动窗口更新算法来提取 AVB 数据中的实际有效载荷数据。

1 无人车 EE 架构及 AVB 协议

1.1 无人车 EE 架构

无人驾驶车辆的 EE 架构采用集中式架构,以域的概念进行划分,包括底盘域、车身域、无人驾驶域和网联域等。本文基于自定义的 AVB 通信,根据 EE 架构特征实现各域控制器的通信层、应用层和决策层之间的实体通信与虚拟通信,以获取最终有效载荷数据传递给各域间系统的上层应用。无人车 AVB 的 EE 架构图如图 1 所示。其中,中央网关实现了各域间系统的 AVB 数据的互联和传输,是整车以太网网络交互的枢纽,各域间系统均由两线以太网连接至中央网关,依据中央网关实现基于自定义的 AVB 格式的两线以太网数据传输。

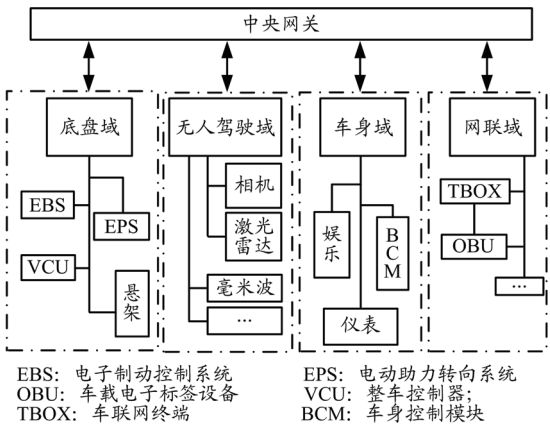


图 1 无人车 AVB 的 EE 架构

1.2 域间系统 VLAN ID 分配

VLAN 是一种将局域网设备从逻辑上划分成 1 个网段,从而实现虚拟工作组的新兴数据交换技术,其 ID 范围一般为 0~4096 个,无人车的 VLAN ID 按照实际网络架构划分如表 1 所示。当嵌入式 Linux 系统启动后便会自动运行 VLAN ID 配置脚本以完成对整车 VLAN ID 的分配。

表 1 无人车以太网 VLAN ID 分配

域划分	处理系统	VLAN ID
无人驾驶域	智能计算平台	17
车身域	BCM	53
底盘域	整车控制器	58
网联域	网联终端	34

1.3 自定义 AVB 协议数据格式

AVB 协议集包含的数据包类型很多,但每种不同用途的 AVB 数据基本框架大同小异。本文针对无人车数据通信特点设计了面向车辆应用的自定义 AVB 数据集,AVB 的有效流媒体数据包(有效载荷 CAN 数据)封装在最内层。一帧 AVB 数据由 30~50 帧有效载荷 CAN 数据构成。目前使用的一帧原始、完整的 AVB 数据协议格式如图 2 所示,其中黄色阴影部分为自定义 AVB 数据集。

协议采用多层嵌套结构,AVB 数据封装在嵌套格式里。协议整体包括位于数据链路层的介质访问控制(MAC)地址,作为以太网帧的帧头、应用层的数据头、数据包及校验部分;根据无人驾驶的决策层对车辆数据的需求,一帧 AVB 数据包包含的最大有效载荷 CAN 数据为 50 帧,本文根据实际应用,共设计了 30 帧有效 CAN 数据,每帧有效载荷 CAN 数据又含有 CAN 数据的加密头、长度、CAN 数据、校验及计数部分,传递给上层决策层的仅为 8 字节的 CAN 数据。

2 软件架构设计

2.1 虚拟通信处理机制

整体 AVB 数据通信流向示意图如图 3 所示,自顶向下分为决策层、应用层和通信层 3 个部分。通信层 AVB 原始数据包含以太网帧头、帧尾、以太网标识、校验及计数和 CAN 数据等,每一帧 AVB 数据共有 32 个字节。4 个域间系统均需提取出其 AVB 数据中有效的 32 字节 CAN 数据为决策层有效使用,所以涉及不同 VLAN ID 的接收线程。

以太网帧头			数据头			数据包										校验		
DA	SA	报文类型	标识	VLAN ID	以太网协议类型	以太网荷载	帧起始	帧序号	以太网加密头	CAN 加密头	CAN 更新标识	CAN 长度	CAN 数据	CAN 计数	CAN Crc 校验	以太网计数	AVB Crc 校验	帧结束
6 字节	6 字节	2 字节	4 比特	12 比特	0X88B5 (2 字节)	24 字节	3 字节	1 字节	5 字节	6 字节	1 字节	1 字节	8 字节	4 字节	8 字节	1 字节	8 字节	3 字节

图 2 AVB 数据协议格式

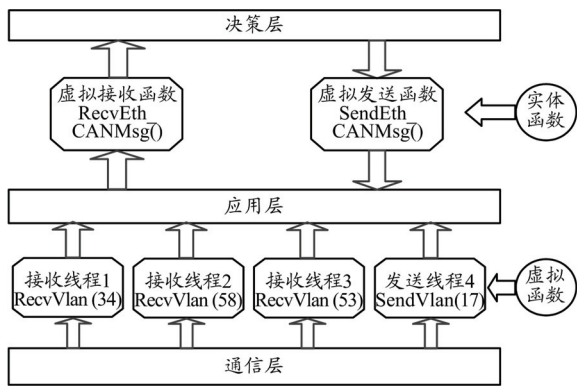


图 3 AVB 通信数据流向图

通信层包含相关接收线程及发送线程;接收线程 1 的回调函数为实体接收函数 RecvVlan(34),34 表示接收网联域的 AVB 数据;接收线程 2 的回调函数为实体接收函数 RecvVlan(53),53 表示接收车身域的 AVB 数据;接收线程 3 的回调函数为实体接收函数 RecvVlan(58),58 表示接收底盘域的 AVB 数据;发送线程的回调函数为实体发送函数 SendVlan(17),17 表示无人驾驶域的发送数据。因数据量庞大,经过提取筛选的有效数据必须是实时更新变化的数据,若收到的有效数据未变化则不能传递给上层决策。

2.2 软件流程

软件设计包括通信层过滤提取、应用层更新和决策层虚拟传递 3 方面,软件流程图如图 4 所示。采用嵌入式 Linux 系统且基于 POXI 多线程编程实现无人驾驶

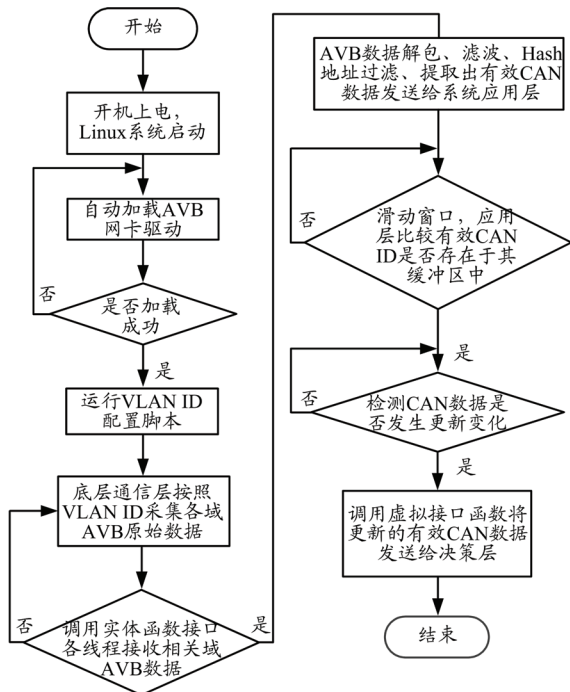


图 4 软件流程图

域的智能计算平台,通过一种虚拟通信方法并设计相关接口函数,完成各域间模块的通信层、应用层和决策层之间的实体通信与虚拟通信。通信层与应用层之间通过实体函数实现数据传输,实体函数包括实体接收函数 RecvVlan()和实体发送函数 SendVlan();应用层与决策层之间通过虚拟函数接口实现有效载荷数据传输,虚拟函数包括虚拟接收函数 RecvEth_CANMsg()和虚拟发送函数 SendEth_CANMsg()。

2.3 底层 MAC 滤波提取

由于自定义的 AVB 数据集的数据量较大,需要先从 MAC 层的无用数据过滤以获取有效数据,减轻决策层协议栈处理负担。本文采用英飞凌 TC275 处理器为通信层处理器,该处理器以太网 MAC 层过滤支持多播目标地址过滤(Hash 散列地址过滤)、单播目标/源地址过滤和组播过滤等。本文采用 Hash 散列地址过滤算法。

2.3.1 Hash 散列地址过滤算法

Hash 散列地址过滤算法的本质是给定任意长度的数据 DATA,通过 Hash 散列表实现 $H[KEY]=DATA$ 的一一映射关系,得到固定长度数据 KEY,如图 5 所示。在自定义的 AVB 数据集中,本文通过计算目标 MAC 地址的 CRC32 校验值获取高 6 位作为索引查询 Hash 散列表寄存器中对应的值,以判断是否接收某数据帧,从而实现 Hash 散列地址过滤,过滤目的/源地址及 VLAN 等一系列无效数据。

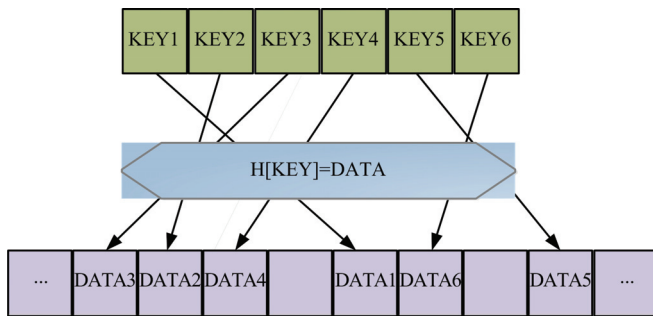


图 5 Hash 散列表

2.3.2 算法实现

Hash 散列表设置成 64 位双组地址过滤,因本文所用的进阶精简指令集机器(ARM)处理器为 32 位,所以 64 位地址存放在 2 个 32 位寄存器中:ETH_MACH 高寄存器和 ETH_MACL 低寄存器。MAC 接收到 AVB 帧后,自动计算目标 MAC 地址的循环冗余校验(CRC)逻辑值,并用该 CRC 数值的高 6 位作为散列索引值去 64 位 Hash 散列表中查找对应位。CRC 使用多项式编码,其公式如式(1)所示,多项式为 0x4C11DB7。

$$G(x)=x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1 \quad (1)$$

Hash 散列地址过滤算法的具体步骤如下:

- ①获取目标 MAC 地址,并计算其 CRC32 值;
- ②取第一步的计算值进行按位取反;
- ③取第二步计算值的高 6 位来决定选择散列表的高低寄存器;
- ④取第二步计算值的剩余 5 位来决定是否过滤该帧数据;为 1 接收,为 0 则过滤。

Hash 散列地址过滤算法主要代码参照 HAL 库截取如下:

```
uint32_t MacHash(const uint8_t *Mac) {
    int i, j;
    uint32_t Crc;
    Crc = 0xFFFFFFFF;
    for(j=0; j<6; j++)
    {
        Crc = Crc ^ (uint32_t)Mac[j];
        for(i=0; i<8; i++)
            if (Crc & 1)
            { Crc = (Crc >> 1) ^ 0x04C11DB7; }
            else
            { Crc = (Crc >> 1); }
    }
}
```

2.4 有效数据流实时更新

经过 Hash 散列地址过滤算法过滤后的数据并不能直接传递给决策层使用。自定义 AVB 的协议栈有效数据在每一帧 AVB 数据共包含 30 帧 CAN 数据,由于 CAN 原始周期不同,还需要针对不同周期报文进行更新检测,以获得实时更新有效数据。

2.4.1 滑动窗口算法

滑动窗口算法实质是用来解决查找满足一定条件的连续区间性质的问题,通过空间换取时间,减少数据重复计算,降低时间复杂度。当连续区间数据更新变化时,把搜索空间里的旧数据移除,把新数据加入到窗口内,随时间持续推移,新数据不断纳入窗口,旧数据随之移走。发送方为每一帧数据编制序号,序号可以无限增大,但滑动窗口有实际大小。本文采用了一种改进的滑动窗口算法来控制 AVB 数据传送时的流量及数据的更新变化,即针对实际数据传输速率不同,把滑动窗口设置为时间周期,实现对周期性数据的更新检测。

2.4.2 改进的滑动窗口算法原理

改进的滑动窗口算法根据时间周期来对数据更

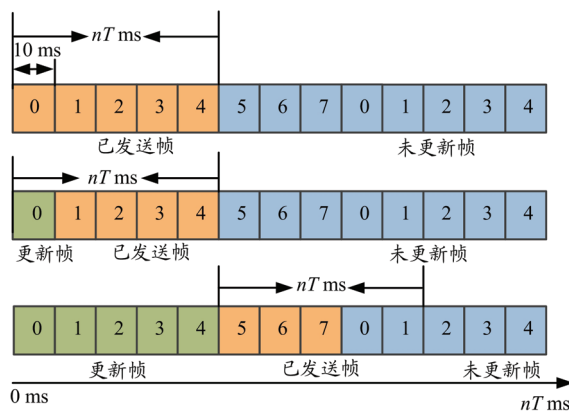


图 6 基于周期 T 变化的改进滑动窗口算法原理图

新,接收方能够抑制发送方数据发送速度,使接收方能够处理更多有效实时更新数据,降低通信延时。基于这种思想,改进的滑动窗口算法中未更新数据通过协议标志进行移除,其原理图如图 6 所示。

滑动窗口大小根据实际功能划分为两类窗口大小:单帧有效数据静态窗口为 8 字节,单帧 AVB 数据静态窗口大小为 30 帧(上限为 50 帧)。帧头设计时,原本的每帧序号和确认号保留,标志 FLAG 为每帧更新标志。由于有效载荷 CAN 数据的 CAN 报文原始周期不同,滑动窗口需要设置跟随报文周期变化的动态滑动周期 T ,即滑动窗口是动态可变的, T 分别设置为 10 ms、50 ms 和 100 ms。当 $T=10$ ms 时,检测单帧的静态窗口数据在该时间段内是否有变化,有变化则移入该滑动窗口,无变化则移除窗口。 T 为其它数据时采用同样机制。 T 越短,单帧检测的速度就越快,实时更新的数据量就越多; T 越长,单帧检测的速度就越慢,实时更新的数据量就越少。

2.4.3 算法实现

改进后的滑动窗口算法在决策层和应用层间的发送和接收 2 种情况下使用,其数据帧更新处理过程如图 7 所示。

◆发送时,通过调用虚拟发送函数,将要发送的指令以 CAN 数据帧的形式发送给应用层,对 ID、长度和正文内容进行填充。应用层接收到决策层发送的 CAN 数据后,根据不同的滑动周期 T 与其发送缓冲列表中的 CAN ID 进行比较,当在某一特定的滑动周期 T 内收到的数据与缓存数据一致,即为实时更新数据。然后,应用层将有效载荷 CAN 数据进行加密校验封装成一帧 32 字节的 CAN 数据发送给通信层,通信层将其封装成以太网加密校验的原始 AVB 数据格式,最终由通信层以太网芯片发送给其它各域间系统使用。

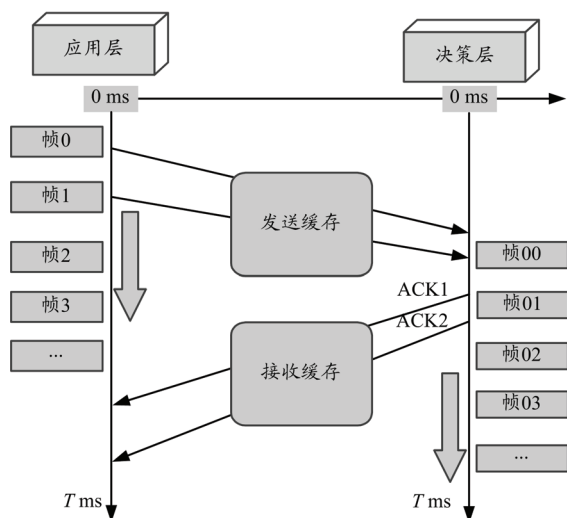


图7 数据帧更新处理

◆接收时,应用层对于 CAN 有效数据更新变化的判断均是逐帧进行的。依据滑动窗口的滑动周期 T 的大小,每帧 CAN 数据的更新标志位都会采用轮询方式进行循环判断。当更新标志位由 0 变为 1 时,判断该帧 CAN 数据发生了更新变化,然后把有更新变化的 CAN 数据按照帧的形式发送给决策层。

3 系统测试验证

该 AVB 技术涉及域间各控制器通信,因此在实车进行测试验证时,以无人驾驶域的智能计算平台作为核心处理节点,测试其发送和接收的不同 VLAN ID 数据。智能计算平台以 TI 的多核异构处理器 Jacinto 7 为核心计算平台,该平台是德州仪器推出的新型低功耗、高性能的面向 ADAS 技术领域使用的车规级计算平台。各域间系统的 AVB 数据基于 Wireshark 进行抓包分析,如图 8~图 10 所示,图中的标注说明如下:

◆红色框数据:88 为每一帧有效载荷 CAN 数据中的更新标志,84 为每一帧有效载荷 CAN 数据中的未更新标志,更新标志占一个字节;

◆蓝色框数据:代表各域的 VLAN ID,为 16 进制;

◆黄色框数据:有效载荷 CAN 数据,占 8 个字节;

◆绿色框数据:CAN 数据长度;

◆粉色框数据:有效载荷 CAN 数据的扩展帧类型 CAN ID,如 18fae12a。

可以看出,该 AVB 完整原始数据涉及大量对于上层应用处理无关的信息,经过 Hash 散列地址过滤算法和滑动窗口算法处理后,有效载荷数据仅包含实时更新数据,如黄色框标出的一帧有效载荷 CAN 数据,该方法有效减轻了决策层处理无效数据的压力。

0250	00 00 00 00 00 00 00 08	84 00 00 00 00 00 00 00	
0260	00 08 03 02 78 46 00 00	80 00 00 e5 00 00 00 00	
0270	00 00 00 00 00 00 00 08	88 00 00 00 00 18 fa e1	更新标志
0280	2a 08 03 02 78 46 00 00	80 00 00 60 00 00 00 00	
0290	00 00 00 00 00 00 00 08	88 00 00 00 00 18 fa e2	更新标志
02a0	2a 08 03 02 78 46 00 00	80 00 00 61 00 00 00 00	
02b0	00 00 00 00 00 00 00 08	84 00 00 00 00 00 00 00	有效CAN数据
02c0	00 08 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	
02d0	00 00 00 00 00 00 00 08	84 00 00 00 00 00 00 00	
02e0	00 08 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00	
02f0	00 00 00 00 00 00 00 08	84 00 00 00 00 00 00 00	
0300	00 08 00 00 00 00 00 00	d8 27 00 8a 00 00 00 00	
0310	00 00 00 00 00 00 00 08	84 00 00 00 00 00 00 00	

图8 VLAN17 AVB 数据

0000	ff ff ff ff ff ff 06 bf	d1 0e 8b 80 81 00 90 3a	VLAN ID
0010	88 b5 72 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 ff 13	
0020	80 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 59 2d	
0030	54 01 00 00 00 00 00 00	84 00 00 00 00 18 ff dc	未更新标志
0040	24 08 00 00 00 00 00 00	a1 3a d3 a1 aa aa aa aa	
0050	aa aa aa aa aa aa aa 00	84 00 00 00 00 18 ff 08	单帧8字节
0060	24 08 e0 00 00 34 02 00	00 00 94 51 aa aa aa aa	有效CAN数据
0070	aa aa aa aa aa aa aa 00	84 00 00 00 00 18 ff 14	
0080	24 88 00 00 15 47 80 11	00 00 2f 51 aa aa aa aa	
0090	aa aa aa aa aa aa aa 00	84 00 00 00 00 19 ff 85	有效CAN ID
00a0	13 08 00 00 00 00 00 00	00 00 63 00 aa aa aa aa	
00b0	aa aa aa aa aa aa aa 00	84 00 00 00 00 19 ff 86	
00c0	13 08 00 00 00 00 00 00	00 00 05 00 aa aa aa aa	
00d0	aa aa aa aa aa aa aa 00	84 00 00 00 00 18 ff 30	单帧有效
00e0	f4 08 5d 17 f5 5d e0 80	27 00 c9 28 aa aa aa aa	CAN数据长度

图9 VLAN58 AVB 数据

0000	ff ff ff ff ff ff 00 45	30 00 18 08 81 00 90 22	VLAN ID
0010	88 b5 80 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 fe db	
0020	80 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 59 2d	
0030	54 5b 00 00 00 00 00 00	88 00 00 00 00 18 f2 00	更新标志
0040	f6 08 f1 00 00 0f 00 00	ff ff 00 39 00 00 00 00	
0050	00 00 00 00 00 00 00 00	88 00 00 00 00 18 f2 0d	
0060	f6 08 1b 01 00 ff ff ff	ff ff 00 39 00 00 00 00	
0070	00 00 00 00 00 00 00 00	88 00 00 00 00 18 f2 0c	
0080	f6 08 00 00 00 00 00 00	00 00 39 00 00 00 00 00	单帧有效8字节
0090	00 00 00 00 00 00 00 00	88 00 00 00 00 18 f2 03	CAN数据
00a0	f6 08 00 00 00 00 00 00	00 00 39 00 00 00 00 00	
00b0	00 00 00 00 00 00 00 00	88 00 00 00 00 18 f2 04	
00c0	f6 08 00 00 00 00 00 00	00 00 39 00 00 00 00 00	

图10 VLAN34 AVB 数据

4 结束语

本文针对无人驾驶车辆设计了一种针对自定义 AVB 数据集提取有效载荷 CAN 数据的方法,根据无人车灵活的网络拓扑结构和各域间系统通信的特点,通过划分 VLAN ID 来实现域间各系统的数据通信;基于虚拟通信机制及 Hash 散列地址过滤算法将 MAC 层目的/源地址和 VLAN 等一系列无效数据进行过滤,同时基于改进的滑动窗口算法获取剥离后的实时更新数据,最终将获得的有效载荷 CAN 数据传递给决策层,减轻了决策层数据处理压力,提高了其数据处理效率。

参考文献:

- [1] 何能正,董建云,何岸.以太网数据包分段传输技术[J].光通信技术,2013,37(9):24-27.
- [2] 徐晓林,秦宗光.一种基于车载以太网的 AVB 通信方法:111064644A[P].2020-04-24.
- [3] 莫杰,林明,林永才.用于工业机器人控制的实时以太网的设计[J].计算机与数字工程,2020(11):2750-2760.

- [4] 郭健忠,陈典,闵锐. 基于不同物理架构的车载以太网通信设计研究[J]. 电子器件,2018(6):1538-1542.
- [5] 李海宁. 基于 Ethernet AVB 的汽车混合网络的分析与设计 [D]. 重庆:重庆邮电大学,2016.
- [6] 关松青,肖昌炎,夏晓荣. IEEE1588 协议在工业以太网中的实现[J]. 计算机工程,2011,37(6):237-238.
- [7] 王跃飞,黄斌,吴源. 智能汽车 Ethernet AVB 网络实时性分析[J]. 农业装备与车辆工程,2019(3):1-7.
- [8] 郑文庆,金虎,郭建蓬,等. 基于信道占用及优先级的 MAC 协议退避算法[J]. 计算机工程与应用,2019,55(11):80-84.
- [9] 符丹丹,赵杰,等. 基于商用车的车载以太网通信技术应用[J]. 汽车电器,2020(7):34-38.
- [10] 呼布钦,秦贵和,刘颖. 下一代汽车网络:车载以太网技术现状与发展[J]. 计算机工程与应用,2016, 52(24):29-36.
- [11] 刘艳萍,赵萍,王艳明. 基于网络演算的 AVB 网络流量接纳准则研究[J]. 河北工业大学学报,2021,50(4):44-50.
- [12] 杨钞翔,孔宪伟,栾文焕,等. 基于以太网 10G Base-R 协议的 PCS 层设计[J]. 微电子学与计算机,2019(2):16-20.
- [13] 桂超,孙宝林. 一种新的滑动窗口网络编码模型与算法研究[J]. 光通信研究,2019(4):61-65.
- [14] IEEE. IEEE standard for local and metropogrid control and protection [J]. Energies, 2016, 9(3): 204-220.
- [15] AN D. Design and implementation of the car multimedia data transmission system using Ethernet AVB[C]//IEEE. Proceedings of Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks. [s.l.]: IEEE, 2016: 481-483.
- [16] IEEE. IEEE standard for ethernet amendment 1: physical layer specifications and management parameters for 100 Mb/s operation over a single balanced twisted pair cable (100BASE-T1)[EB/OL]. [2021-12-30]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6525312>.
- [17] IEEE 802.1 AVB Task Group. IEEE 802.1 audio/video bridging (AVB)[R]. New York: IEEE, 2016: 15-26.
- [18] ALDERISI G, IANNIZZOTTO G, BELL L L. Towards IEEE802.1 ethernet AVB for advanced driver assistance systems: a preliminary assessment [C]//IEEE. Proceedings of Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA). [s.l.]: IEEE, 2012: 1-4.