



引用格式:林胜勇,彭能岭,李钰锐. 自动驾驶汽车数据记录及上传系统设计[J]. 轻工学报, 2020,35(5):96-102.

中图分类号:U463 文献标识码:A

DOI:10.12187/2020.05.013

文章编号:2096-1553(2020)05-0096-07

自动驾驶汽车数据记录及上传系统设计

Design of autopilot vehicle data recording and uploading system

林胜勇,彭能岭,李钰锐

LIN Shengyong, PENG Nengling, LI Yurui

郑州宇通客车股份有限公司,河南 郑州 450061

Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd., Zhengzhou 450061, China

关键词:

自动驾驶;事件数据记录系统;上传

Key words:

autopilot; event data recorder(EDR); upload

摘要:针对目前EDR的标准及设备无法满足自动驾驶汽车数据记录项目多、数据量大的问题,设计了自动驾驶汽车数据记录及上传系统.该系统通过开发专用的ADR设备,并对车辆多个现有设备模块进行改造,完成了ADR设备配套的车载网联终端、视频记录设备和云端数据管理平台的设计,可采集记录自动驾驶汽车的监控视频、感知、决策、控制信息等数据,并通过车载两线以太网网关实现各域间设备的以太网通信.实际应用结果表明,该系统可采集和记录更多更全面的自动驾驶汽车事件数据,并可方便快速地提取数据,不仅为事故责任认定提供有效的数据支撑,还可为自动驾驶汽车的验证评估提供必要的数据来源,进而促进自动驾驶系统的快速迭代升级.

收稿日期:2020-06-10

基金项目:国家重点研发计划新能源汽车重点专项项目(2018YFB0105900);国家自然科学基金项目(U1664264)

作者简介:林胜勇(1985—),男,河南省新乡市人,郑州宇通客车股份有限公司助理工程师,主要研究方向为软件系统设计开发及算法研究.

通信作者:彭能岭(1977—),男,河南省新乡市人,郑州宇通客车股份有限公司高级工程师,博士,主要研究方向为客车自动驾驶技术、新能源电控技术.

Abstract: Aiming at the problem that the current EDR standard and equipment cannot meet the requirement of multiple items and large amount of data for autopilot vehicle data recording, the autopilot vehicle data recording and uploading system was designed. Through the development of special ADR equipment and the transformation of many existing equipment modules of the vehicle, the system had completed the design of the vehicle network connection terminal, video recording equipment and cloud data management platform of the ADR equipment. It could collect and record the data from monitoring video, perception, decision-making and control information of the autopilot vehicle, and realized the Ethernet communication between the devices in each domain through the two-wire Ethernet gateway. The practical application results showed that the system could collect and record more and more comprehensive autopilot vehicle event data, and could easily and quickly extract data, which not only provided effective data support for accident liability determination, but also provided the necessary data source for the verification and evaluation of autonomous vehicles so as to promotes the rapid iterative upgrade of autopilot system.

0 引言

自 1980 年代末开始,安全气囊便被广泛应用在车辆上. 为获得触发安全气囊所需的数据,汽车生产商在气囊控制模块中安装了一个小型存储器,即汽车事件数据记录系统 EDR(event data recorder)的雏形^[1]. EDR 可记录车辆碰撞事件发生前后几秒内的车速、油门状态、制动状态、纵向加速度、方向盘转角等车辆状态参数. 通过读取、分析 EDR 所记录的数据,可推断车辆发生碰撞事件前与事件中的运行情况 and 驾驶员的操作情况,协助还原事故真相.

随着自动驾驶汽车的发展,车辆上加装的感知、控制和计算设备越来越多,自动驾驶系统软件愈加复杂,事故分析所需要的数据也愈加庞大. 在自动驾驶车辆出现事故时,获取车辆在发生事故前准确的速度、行驶轨迹、安全员的操作行为(例如是否踩刹车),以及自动驾驶系统的感知情况、控制状态、行为动作等数据对于交通事故定责起到决定性作用. 因此,自动驾驶汽车碰撞前的数据重建十分重要,这些数据不但能作为自动驾驶汽车事故还原的依据,还能作为系统升级、交通事故避免策略的参考^[2-5].

现有 EDR 设备仅在加速度较大时才会记录事件发生前后很短时间内有限的 CAN 报文

数据,且无法记录自动驾驶汽车的监控视频、感知、决策、控制信息等,更无法记录车辆轻微刮蹭等非严重事件数据. 如果利用 EDR 记录自动驾驶系统数据,还会出现记录频率低、采集数据项不全等问题,无法满足自动驾驶系统庞大数据量的实时采集和存储需求,更无法满足自动驾驶汽车事故责任认定的分析需求^[6-7].

此外,自动驾驶行业还没有可用的车规级产品和方案,也没有正式发布的可参照的国家标准. 鉴于此,本文拟参考 EDR 技术标准^[4-5]的部分设计方法,根据参与国家汽标委自动驾驶汽车数据记录系统(DSSAD)标准制定过程的经验,通过对自动驾驶汽车数据记录及事件上传功能需求进行分析,设计开发自动驾驶汽车数据记录及上传系统(简称 ADR 系统),即自动驾驶汽车“黑匣子”,以期采集和记录更多更全面的自动驾驶汽车事件数据,为事故责任认定提供有效的数据支撑,并促进自动驾驶系统的迭代升级.

1 ADR 系统结构设计

本系统由 ADR 设备、车载两线以太网网关、车载网联终端、视频记录设备和云平台 5 个部分组成,其结构框图如图 1 所示. 其中,自动驾驶计算平台是自动驾驶系统感知、决策等模

块程序运行的宿主设备,为 ADR 系统提供自动驾驶汽车运行过程中所有功能模块的实时数据.

1.1 ADR 设备

系统中的 ADR 设备是本次全新设计开发的数据采集和存储设备,其硬件结构如图 2 所示.

该 ADR 设备具有 2 路 CAN 总线接口.1 路 CAN 连接 VCU 控制器,用于接收车辆上下电信号等状态标志数据,以便 ADR 设备自动开始或结束数据采集;另 1 路 CAN 连接仪表,用于对发生事件或 ADR 设备自身故障进行提醒警告^[8].

该 ADR 设备具有 1 路百兆的两线以太网接口,提供 10 MB/s 的网络接入能力,与车载两线以太网网关连接,实现自动驾驶系统内部及域间通信数据的采集;具有 1 路千兆的八线以

太网接口,提供 100 MB/s 的网络接入能力,可满足激光雷达原始点云、深度学习相机原始图片等大量数据文件的采集需求,同时也便于快速提取 ADR 设备内部存储的数据^[9].

如上所述,ADR 设备的网络接入数据总带宽最大约为 110 MB/s.为解决传统 EDR 存储空间过小的问题,ADR 设备内置了 2 TB 监控级固态硬盘,可满足自动驾驶汽车运行过程中大量数据的持续采集、快速记录和长时效本地存储的需要.硬盘存储性能如表 1 所示.

表 1 硬盘存储性能

Table 1 Storage performance of hard disk

| 参数 | 参数值 |
|-----------------------------------|--------|
| 最大随机读取速度/(MB · s ⁻¹) | 530 |
| 最大随机写入速度/(MB · s ⁻¹) | 460 |
| 4 K 随机读取速度/(次 · s ⁻¹) | 97 226 |
| 4 K 随机写入速度/(次 · s ⁻¹) | 90 946 |
| 硬盘寿命/TBW | 2100 |

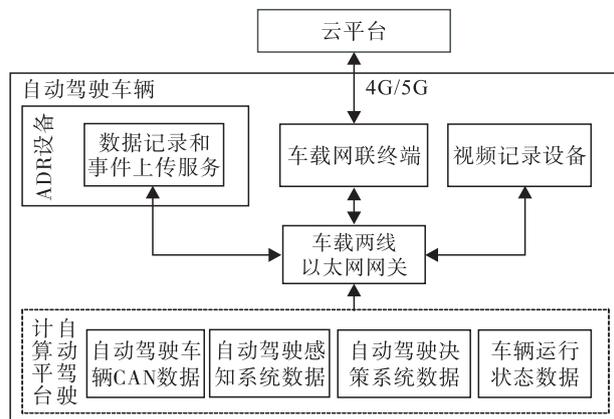


图 1 ADR 系统结构框图

Fig. 1 Structure block diagram of ADR system

1.2 车载两线以太网网关

为解决 EDR 的 CAN 总线采集数据频率不高、数据量少的问题,同时满足自动驾驶车辆大量数据的传输和采集需求,本系统引入车载两线以太网网络,并设计开发车载两线以太网网关来实现各域设备间的以太网通信,以提高各域间数据通信带宽,理论数据传输速度可达 100 MB/s.

车载两线以太网网关的硬件接口如图 3 所示,其功能类似于普通的网络路由器,可实现各域控制器间的两线组网.各域间通信协议层使用标准 AVB 协议进行通信,两线网关实现了域间不同业务数据的路由转发功能,避免了不必要的网内广播导致的数据风暴和安全风险.

1.3 车载网联终端

现有网联终端主要是实现车上各域控制器与云平台的联网通信功能.

本系统对当前网联终端的硬件和软件进行

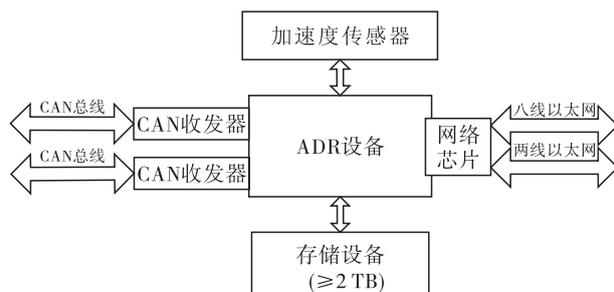


图 2 ADR 设备硬件结构

Fig. 2 Hardware structure of ADR device

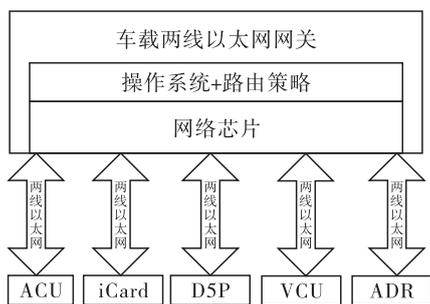


图3 车载两线以太网网关的硬件接口

Fig.3 Hardware interface of on-board two-wire Ethernet gateway

了升级改造,从现有硬件网络芯片中扩展出1路两线以太网接口,收集事件涉及的自动驾驶系统数据和视频记录设备提供的车辆视频数据,并在收集汇总后统一上传至云平台。

1.4 视频记录设备

为解决 EDR 无法记录车辆监控视频的问题,同时实现视频的采集存储,事件发生前后视频数据的自动分割、提取和锁存,并减少系统开发周期和成本投入,本系统对商用车普装的视频记录设备进行硬件和软件升级,以满足视频业务的需要。

本系统首先在原视频记录设备硬件网络芯片中扩展出1路两线以太网接口,用于与其他域控制器进行通信,实现接收 ADR 设备发来的事件信号;然后提取事件前后指定时间段的各路视频数据,并将其发给网联终端,进而上传至云平台。

1.5 云平台

为解决传统 EDR 设备的事件数据只能本地存储、不能及时提取和分析的问题,本系统设计开发了事件数据云端管理平台(简称云平台),以提高事件数据的提取实时性和分析效率,同时增强数据的安全性,防止数据在车端损坏或提取后被篡改。

云平台与车载网联终端通过 4G 物联网进行通信。云平台向网联终端提供云存储的本地

虚拟化映射功能,同时支持断点续传,简化网联终端事件数据文件的上传过程。

采用 JT/T808 通信协议进行云平台与网联终端之间的命令交互,实现双方事件通知、数据远程召唤等功能。在传输通道上对交互数据进行加密传输,降低公网传输的安全风险。

2 系统业务设计

ADR 设备完成上电和初始化工作后,数据记录和上传服务将自动启动,按照预定域间通信协议,检查自动驾驶控制器(ACU)、网联终端、视频记录设备的通信是否正常。

ADR 将自动侦听和采集 ACU 发来的自动驾驶系统数据,并将不同数据写入各自的文件缓存中。当文件缓存区储满之后,则将数据缓存异步持久化写入硬盘,以提高实时采集数据的响应速度和硬盘的整体写入效率。

2.1 数据采集和存储

ADR 设备正常启动后,会接收自动驾驶控制器发来的感知、决策、车身状态和 CAN 网络数据,并使用多线程采集模式将采集的不同类型数据写入硬盘文件。

当 ADR 设备监测到剩余磁盘空间不足时,会启动数据清理功能,清理过程遵循最小量清理和最早数据优先清理原则,以确保保留尽量多的最新数据。ADR 设备优先保留 1 h 内的所有数据,先清理已经上传成功的事件数据,再清理 1 h 前的非事件数据。如果空间仍然不足,再清理 10 h 前未上传的事件数据。

系统在删除数据的同时,会在日志系统中记录所清理的事件发生时间、类型、级别等必要数据信息,以便在事件数据被清理后仍能查询到已发生事件的简要信息。

如果存储空间存在异常,将通过车辆仪表盘进行告警提示。数据采集和存储流程如图 4 所示。

2.2 事件处理流程

事件信号由自动驾驶系统的决策程序进行

判断和提供. 当接收到事件信号时, ADR 设备将通过 AVB 协议向网联终端和视频记录设备发送事件通知, 并将发生时刻前 90 s 和后 30 s 的数据进行锁定保护. 之后, ADR 设备和视频记录设备会通过 FTP 协议将该时间段内采集的自动驾驶系统数据和车辆视频数据上传至网联终端, 最终由网联终端上传至云平台. 事件处理流程如图 5 所示.

2.3 云端数据上传设计

ADR 设备不仅提供本地提取数据的以太网接口, 同时还支持将事件数据通过网联终端自动上传至云平台, 并在云平台上进行下载分析.

当车载网联终端监测到 ADR 设备发来的事件通知后, 将会收集自动驾驶系统数据和视频记录设备传来的监控视频, 然后通过 4G 物

联网通道向云平台上传数据. 上传过程支持断电续传, 可减少网络流量的浪费.

对网联终端与云平台的通信采用 RSA 非对称加密算法进行一层加密握手, 再为每次数据上传过程临时协商和分配二层 AES 对称加密密钥, 然后对所有交互命令和上传的数据进行 AES 加密传输. 由于网联终端每次与云平台的交互密钥都是动态生成的, 因此可以增强数据在公网上传输的安全性. 云端数据上传流程如图 6 所示.

2.4 数据存取测试

ADR 系统需要记录发生事件时的各种数据, 以便进行综合分析. 本文基于不同的事件类型对自动驾驶系统数据进行分类存储和提取, 根据自动驾驶系统所包含的计算设备、通信设

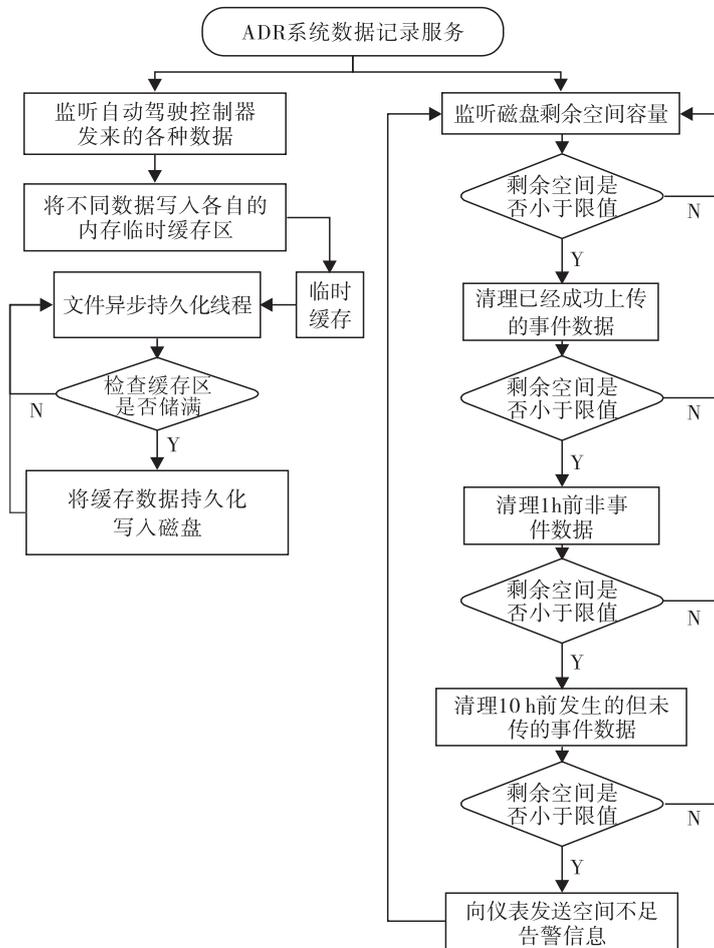


图 4 数据采集和存储流程图

Fig. 4 The flowchart of data collection and storage

备、决策系统、感知系统、控制系统、实际运营场景等信息,对事件进行分类设计,具体监控的车

辆事件清单如表 2 所示。

为了确保自动驾驶系统数据保存完整,ADR 系统需要采集和存储感知系统(如相机视频帧、激光雷达原始点云、毫米波原始报文、各感知和整合程序的目标物结果等)、V2X 系统、决策系统(如轨迹规划结果、运动控制命令等)、车辆控制系统的输入和输出结果数据,以及车身域、底盘域、网联域等所有交互的业务 CAN 报文和业务以太网数据包。为了支撑上述数据的实际存储需要,同时为 ADR 预留功能升级空间以满足不断增长的数据采集量需求,ADR 内部设计了 2 TB 存储空间,并实行循环覆盖存储。

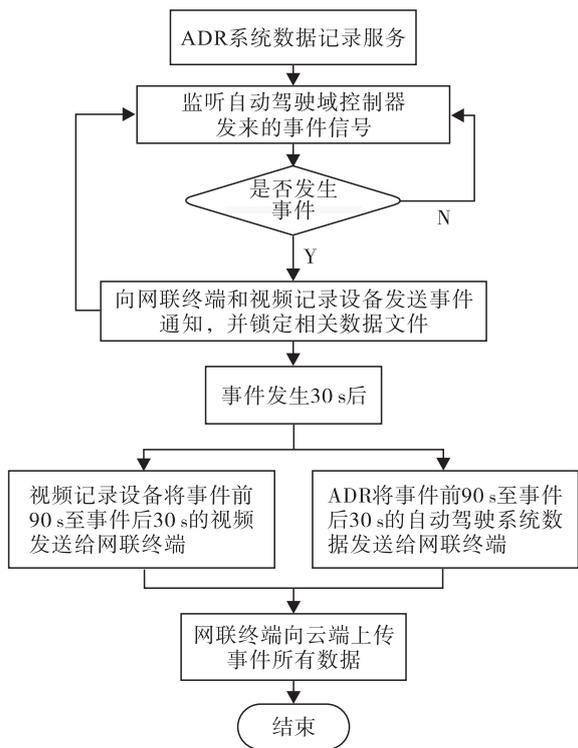


图 5 事件处理流程图

Fig. 5 Processing flowchart of event

3 实际应用验证

本系统在 12 台 L3 级自动驾驶 BRT 公交车上进行了为期 2 个月的实际运行,在不同采集场景下,ADR 设备可存储有效数据时长结果如表 3 所示。由表 3 可知,在自动驾驶模式下,ADR 设备可采集存储 85 h 的数据,按实际车辆每日运营 10 h 计算,可保存 8 d 的数据,存储数据的有效时长可以满足实际运营和提证时效的

表 2 车辆事件清单

Table 2 Vehicle event list

| 事件类型 | 事件描述 |
|--------|-------------------------------------|
| EDR 事件 | 遵循 EDR 中 A 级和 B 级事件定义标准,如横纵向加速度变化异常 |
| 算力消耗异常 | 计算资源占用异常增高等 |
| 网络异常 | 发生 CAN、以太网攻击,数据延迟、网络拥塞、网络中断等 |
| 软件异常 | 自动驾驶系统任何软件出现异常退出、数据异常等 |
| 感知系统故障 | 感知设备故障,障碍物处于危险范围内等 |
| 车辆状态异常 | ABS、ASR、AEB 激活等 |
| 控制系统异常 | 驱动、制动、转向等装置无法正常响应控制命令等 |
| 人为接管 | 自动驾驶模式下急停按钮被按下, DMS 检测到司机状态异常等 |

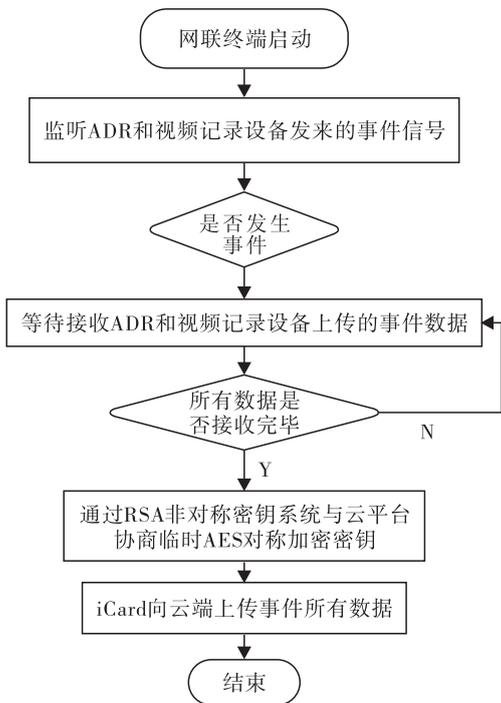


图 6 云端数据上传流程图

Fig. 6 Upload flowchart of cloud data

需要。

ADR 具有 1 路八线以太网接口可用于本地数据的提取。在不同业务场景下,采集 1 d 的数据量,其提取用时结果如表 4 所示。由表 4 可知,在辅助驾驶模式下,车辆运营 1 d 的数据约为 108 GB,可以在 18 min 内完成提取;在自动驾驶模式下,车辆运营 1 d 的数据约为 216 GB,可以在 36 min 内完成提取。由此可见,数据提取过程耗时很短,这不仅可以满足车辆事故数据提取效率的需要,也能提高研发数据的提取效率。

综上,ADR 系统不仅可以采集存储辅助驾驶和自动驾驶系统的实际运营数据,而且还可以提供快速的数据提取通道,同时还可以满足研发工作所需的大量数据的采集和存储,其应用场景可支撑自动驾驶系统研发调试和实际运营需要。

4 结语

本文引入车载两线以太网和 CAN 网络设计了 ADR 系统,通过对车辆多个现有设备模块进行改造,开发了 ADR 设备配套的车载网联终端、视频记录设备和云端数据管理平台。实际应

表 3 ADR 设备存储数据的有效时长

Table 3 The effective time for ADR stored data

| 数据写入速度/(MB·s ⁻¹) | 有效存储时长/h | 场景说明 |
|------------------------------|----------|---------------|
| 3 | 170.0 | 辅助驾驶最小数据集 |
| 6 | 85.0 | 自动驾驶最小数据集 |
| 10 | 51.0 | 两线百兆网络全负荷采集 |
| 100 | 5.0 | 八线千兆网络全负荷采集 |
| 110 | 4.5 | 两线和八线网络均全负荷采集 |

表 4 数据提取用时

Table 4 Data extraction time

| 采集数据量/GB | 本地提取用时/min | 场景说明 |
|----------|------------|-------------------|
| 108 | 18 | 辅助驾驶最小数据集 3 MB/s |
| 216 | 36 | 自动驾驶最小数据集 6 MB/s |
| 360 | 60 | 研发测试场景数据集 10 MB/s |

用结果表明,相较于 EDR 设备,本系统能采集和记录更多更全面的自动驾驶汽车事件数据,并可方便快速地提取数据,为事故责任认定提供有效的数据支撑。

随着自动驾驶汽车的不断发展和落地应用,ADR 设备和配套管理系统将成为自动驾驶车辆的必备组成部分。基于成熟的车载以太网技术,通过满足车载 EMC 要求的百兆、千兆车载以太网和车规级高速存储设备,实现高带宽、高性能的数据传输和存储,在自动驾驶汽车领域将具有更加广阔的发展空间。

参考文献:

- [1] 谷阳阳,柴智勇,全宝强. 事故数据记录系统 EDR 在车辆质量司法鉴定中的应用[J]. 电子测量技术,2018,41(18):133.
- [2] 吴含冰,孙枝鹏,张广秀,等. 汽车事件数据记录(EDR)系统数据读取方案研究[J]. 汽车电器,2019(12):1.
- [3] 钱宇彬,李威,冯浩. 车辆 EDR 数据分析及应用[J]. 汽车技术,2017(12):48.
- [4] 施水娟,路长国,申彪. 车载数据记录设备的设计与实现[J]. 电子测量技术,2019,42(11):76.
- [5] 冯浩,方建新,陈建国,等. 道路交通事故速度重建技术现状[J]. 中国司法鉴定,2014(6):68.
- [6] 袁清峰,刘志远,赵天峰,等. 一种车辆状态通用自动监测装置设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2016,24(6):15.
- [7] 刘全周,李占旗,陈慧鹏,等. 汽车事件数据记录系统控制策略研究[J]. 汽车电器,2019(11):52.
- [8] 李利飞,闫瑞杰,李海香. 基于 CAN 总线的汽车电气控制系统设计[J]. 山东工业技术,2019(6):69.
- [9] 李巍,张丽静,王燕芳. 车载以太网技术及标准化[J]. 电信网技术,2016(6):1.