

车载终端数据异步发送架构设计与应用

孙龙洋^{1,2,3}, 纪少波^{2*}, 李国朋^{1,3}, 张延良^{1,3}

1. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061;
2. 山东大学核科学与能源动力学院, 山东 济南 250061;
3. 内燃机与动力系统全国重点实验室, 山东 潍坊 261061

摘要:针对不同地域通信质量对车载终端数据发送影响较大、数据丢包率较高的问题,为进一步优化和提高数据传输质量,基于传输控制协议缓存的方式,设计一种涵盖数据读取、存储、传输的异步处理架构,引入数据缓存池,将数据接收和发送过程拆分,实现车载终端在盲区时存储和实时传输两种模式之间的数据缓冲。选取不同地区的10台商用车,对比应用网联数据异步发送架构前、后的数据传输丢包率。结果表明:应用网联数据异步处理架构后,数据传输完整性明显改善,信号强度对数据传输的影响明显降低;网联数据异步发送架构显著提高了数据传输的质量,增强了车载终端在不同通信网络质量环境下的数据发送适应性。

关键词:车载终端;数据接收;数据缓存;数据打包;数据发送

中图分类号:U463.6;TN918

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2025)06-0021-07

引用格式:孙龙洋,纪少波,李国朋,等.车载终端数据异步发送架构设计与应用[J].内燃机与动力装置,2025,42(6):21-27.

SUN Longyang, JI Shaobo, LI Guopeng, et al. Design and application of asynchronous data transmission architecture for a vehicle terminal[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025,42(5):21-27.

0 引言

车联网是由车辆运行信息构成的巨大数据交互网络,网联数据是其中的核心载体。车载远程终端将车辆运行过程中的数据采集并打包,通过网络远程传输到云端,借助云平台的计算能力实现数据的分析、处理,并做出响应决策。随着国家标准法规的更新,目前满足国六排放标准、非道路国四排放标准的车辆以及新能源车辆均已经具备基于车载终端类产品实现远程数据传输能力,成为整车网联化的重要环节^[1]。国家、行业和企业对车联网远程数据传输的速率、可靠性、稳定性、灵活性、适应性提出了较高要求,因此数据传输的完整性和及时性受到越来越多的关注^[2]。

在网络数据传输领域,部分研究聚焦于文件类数据的采集传输优化。金宗轩等^[3]研究了基于嵌入式文件系统提高数据采集系统性能的方法,通过理论数据分析,证明了该同步方法在一定程度上提高了文件类数据采集的性能。部分研究侧重于对通信算法优化,但未深入探讨具体的传输方式。王峰^[4]设计了基于自适应蚁群算法的低延时网络通信优化方法,从通信网络层面强化了数据传输稳定性,提高了通信效率。根据现有模式的研究分析,当前提高数据传输能力主要有两条技术路线:一是改变数据传输方式,比如将基于传输控制协议(transmission control protocol,TCP)链路的单包传输改变为文件传输,但这种模式对于车载终端类产品的硬件架构调整较大;二是加强通信网络基础交互方式,主要是通信基础设施领

收稿日期:2025-09-09

基金项目:山东省重点研发计划项目(2024TSGC0440)

第一作者简介:孙龙洋(1993—),男,山东潍坊人,山东大学硕士研究生,潍柴动力股份有限公司工程师,主要研究方向为智能网联技术,E-mail:649539934@qq.com。

*通信作者简介:纪少波(1979—),男,山东烟台人,工学博士,教授,博士生导师,主要研究方向为汽车电子控制技术,E-mail:jobo@sdu.edu.cn。

域的技术方案,该路线对于车载终端类产品的开发应用也存在一定的难度。在上述两条技术路线的基础上衍生出三种应用模式:第一种模式是在 TCP 基础上直接调用模组底层接口发送数据,发送失败之后再重试,对于矿区等一些信号不稳定地区这种过程的数据丢包率有所增大;第二种模式是通过其他传输模式,如采用超文本传输协议/超文本传输安全协议/文件传输协议等,将数据转换成文件后上传,避免 TCP 多包交互;第三种模式是采用硬件强化的模式提高数据传输速度,如采用信号放大器或者 5G 通信模式。对于硬件架构和应用场景已确定的产品,第二、第三种模式对应的实施方案在软件、硬件及基础设施方面要求较高,改动幅度较大,实际落地难度较大。

本文中设计了一种数据缓存池方案,在数据采集和升级发送之间增加数据发送缓冲池。数据打包之后不直接推送给模组发送,而是将其存储到提前划分的缓冲内存中;判断模组联网正常时读取内存数据推送给模组;模组发送数据成功后,再读取下一条数据。联网信号强度高时可以加快发送频率,信号强度低时降低发送频率。缓冲内存的数据全部读取完毕后,模组处于等待状态。若传输过程中联网失败,将缓冲内存的剩余数据存储到终端的存储介质中。本文中通过将存储与发送解耦切分,实现数据打包和发送的异步处理,将直接发送数据转变为先缓存再择机发送,并分析应用此优化方案前、后的数据传输效果,证明在不改变 TCP 逐包传输现有技术的前提下,缓存池架构可以有效提高数据的传输质量。

1 车载远程终端

1.1 车载远程终端系统架构

车载远程终端主要由数据采集模块、数据处理模块、数据存储模块、数据通信模块、系统管理模块等五大部分构成^[5]。数据采集模块主要负责采集各电控单元和控制器的实时数据;数据处理模块对采集到的车辆数据进行滤波、校验等处理,确保数据质量;数据存储模块负责将处理后的数据存储到车载远程终端的本地存储介质;数据通信模块负责实现数据的实时传输与远程监控,包含通过控制器局域网(controller area network, CAN)总线的本地传输和通过通信模组的远程传输;系统管理模块提供系统状态的实时监测,并允许对采集参数进行配置和调整。车载远程终端系统架构如图 1 所示。

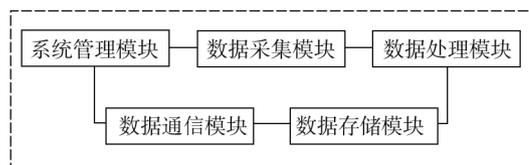


图 1 车载远程终端系统架构

1.2 车载远程终端网联数据发送过程

数据采集模块将采集到的数据传递至数据处理模块,数据处理后根据不同用途,供数据存储模块进行本地存储,或经数据通信模块发送云平台^[6]。这种数据处理后直接发送的传统模式为同步发送方式,该模式存在数据丢包率高、盲区数据中断丢失、发送失败无法反复重发等问题。此外,数据采集、处理、通信等各模块功能高度耦合,如调整数据采集配置时,需同步对其他模块进行调整,限制了车载远程终端数据传输的灵活性、适应性和开发效率。针对上述弊端,在系统架构不变的前提下,通过调整远程数据传输终端的应用软件架构,设计一种数据异步接收和发送的新机制,实现数据缓存、接收和发送在应用软件层面的彻底分离与相互独立。

2 网联数据异步发送方案

2.1 网联数据异步发送流程设计

原始同步发送架构中,数据接收和数据发送顺序执行。车载终端采集到实时数据后,经数据采集模块、数据处理模块、数据通信模块,实时上传至云平台。因联网异常等原因导致数据上传失败后,才会调用数据存储模块进行保存,增加了数据丢包的可能性。因此,在网联终端的软件架构中,采用解耦设计,将数据接收与数据发送分离。数据接收与发送作为两个独立进程,分别与数据存储模块进行读写交互,

实现数据处理与传输的异步并行,互不干扰。基于此网联数据异步发送方案的整体流程如图 2 所示。

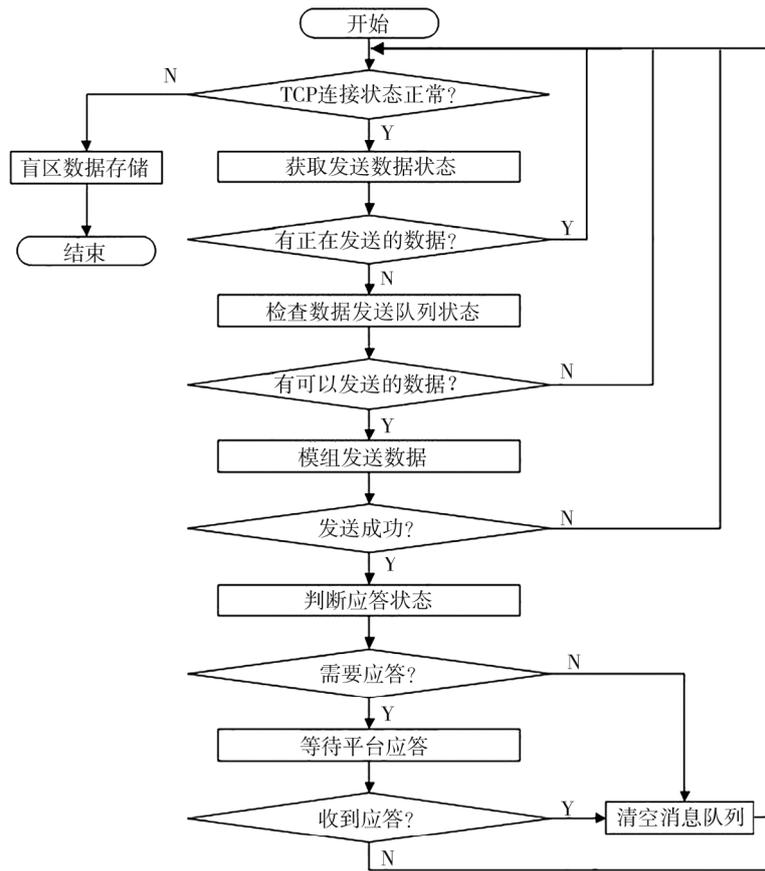


图 2 网联数据异步发送整体流程

2.2 网联数据异步发送架构设计

数据接收、发送过程均直接与数据存储模块交互,因此在数据存储模块中划分一块独立存储区域作为数据缓存池。对数据处理模块、数据通信模块进行功能重构,形成数据缓存池、数据打包、数据发送三个核心环节。

数据缓存池通过链表实现数据存储;数据打包模块负责把拼装好的数据以元素的形式插入数据缓存池;数据发送模块定时查询数据缓存池中元素的状态,进行数据外发。网联数据异步发送架构如图 3 所示。数据传输架构由同步调整为异步后,影响数据采集模块、系统管理模块的开发、执行过程。可通过系统管理模块灵活配置数据采集模块采集的变量和参数,无需修改车载远程终端软硬件,且不影响数据接收、数据发送过程执行。



图 3 网联数据异步发送架构

缓冲池数据存储逻辑为:数据缓存池默认最多存储 16 条(最大条数可设置)打包后的数据;将数据存入缓存前,首先判断缓存池数据是否存满,若缓存池存满 16 条,数据直接存入非易失性闪存(Nandflash)等存储介质,等缓冲池空闲后再次读取发送。

缓冲池数据发送逻辑为:应用层定时查询缓存池数据条数、模组联网状态和模组数据发送任务状态。若缓存池有待发送数据,判断当前是否联网正常、是否有正在发送的数据,当联网状态正常、模组发送状态空闲时,将当前数据逐条发送给云端;若发送失败或发送过程断网,将缓冲池中未发送的数据存入 Nandflash 等存储介质。

3 网联数据异步发送功能实现

3.1 数据打包存储过程

数据打包存储过程中,新数据打包后尝试向数据缓存池中插入元素,并判断数据缓存池待发送元素个数。数据缓存池待发送元素个数 i 小于某设定值 M 则进行存储, i 达到设定值则等待发送。数据缓存池是由若干个结构体数据组成,每个元素除需包含该元素的具体数据长度及数据内容外,还应当包含该元素的使用状态机,0 代表没有数据,1 代表有待发送数据,2 代表数据发送成功,3 代表数据正在发送,状态机在数据发送过程中进行标识和修改。每当对该元素完成操作后,进行状态机切换,每条数据进行状态标识。数据打包存储及状态机更新流程如图 4 所示。

3.2 数据发送过程

网联数据异步发送架构中,数据发送过程负责在联网异常状态下获取数据缓存池中缓存的数据元素,并逐个发送数据。发送过程中,设置定时查询数据缓存池中元素及其当前状态机,如 10 ms 执行一次任务调度,查询到当前缓存池中有元素状态为 1 时,则执行数据发送;如数据发送成功则修改缓存池元素状态机,确保不会重复发送;如数据发送失败则重新检测联网状态后执行重新发送,规避数据丢包问题。按照重构的数据发送过程,可提高发送数据的准确性、缓存数据量和重发成功率。数据发送流程如图 5 所示。

4 应用效果验证

根据上述网络数据异步发送方案,基于某型号车载远程终端进行功能实现及应用验证。验证使用的车载远程终端通信模组型号为移远 EG810M 系列 LTE CAT 1 无线通信模块,主芯片型号为 STM32L431,网联数据采集上传频率为 1 Hz。通过查看自建云平台接收的报文数量及丢包率(理论发送报文数与实际发送报文数的差占理论发送报文数的比),结合不同网络信号强度(carrier signal quality, CSQ)下的丢包率验证上述发送方案的有效性^[7-8]。其中 CSQ 是接收的信号强度指示参数,取值范围为 0~31,可用来代表 4G 网络质量,数值越大代表信号强度越好。在同一位置且 CSQ 基本不变,则可以认为当前 4G 信号条件一致。基于异步架构数据传输验证云平台示意如图 6 所示。

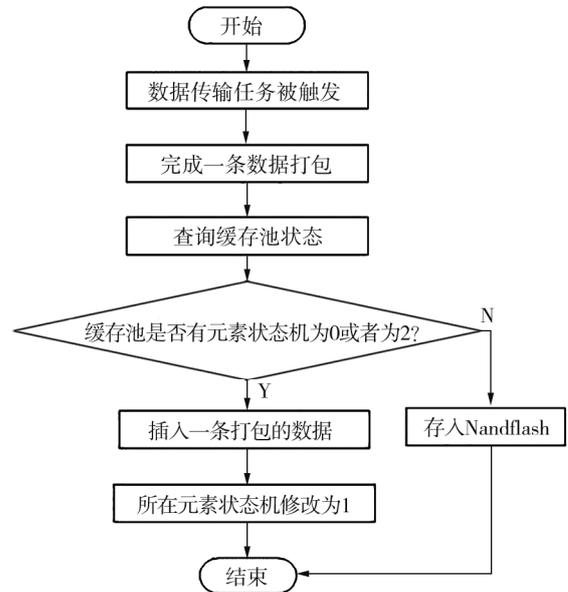


图 4 数据打包存储及状态机更新流程

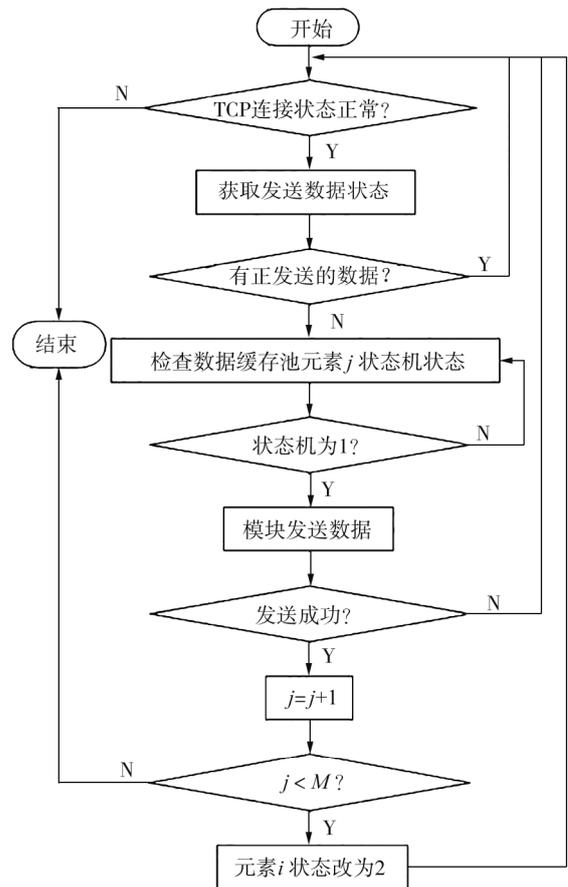


图 5 数据发送流程



图 6 基于异步架构的数据传输验证云平台

4.1 实验室场景验证

基于原始 CSQ 为 31 的 4G 信号较好的实验室场景开展验证。使用同一版车载终端软硬件,通过手动调整信号屏蔽箱的开合角度,结合终端采集的 CSQ,模拟不同的信号强弱^[9],对 10 台终端在相同工况下,模拟不同信号强度的情况下,分别使用本文中改进的异步发送架构及原同步发送架构进行 8 h 对比测试。将验证期间自建云平台实际接收到的 10 台终端平均上传数据条数,与理论平均上传数据条数进行对比,结果如表 1 所示。按照同样方法进行 5 轮对比试验。5 轮验证中环境、屏蔽箱开度、验证时间、发送报文数、软件版本等变量均保持不变,仅在试验过程中交替验证终端的组别。如第 1 组终端首轮验证时 CSQ 为 31,第二轮调整 CSQ 为 27,第三轮调整 CSQ 为 23,以此类推。5 轮验证丢包率结果统计如表 2 所示。

表 1 实验室验证情况统计

CSQ	理论发送报文数	实际上传报文数		丢包率/%	
		本设计	原架构	本设计	原架构
31	28 800	28 670	28 473	0.45	1.14
27	28 800	28 667	28 359	0.46	1.53
23	28 800	28 668	28 224	0.46	2.00
17	28 800	28 665	28 031	0.47	2.67
13	28 800	28 651	27 993	0.52	2.80

表 2 实验室多轮验证结果汇总

CSQ	方案	丢包率/%					丢包率 均值/%	丢包率 标准差/%
		第一轮	第二轮	第三轮	第四轮	第五轮		
31	本设计	0.45	0.46	0.45	0.44	0.46	0.45	0.01
	原架构	1.14	1.21	1.15	1.17	1.15		
27	本设计	0.46	0.46	0.45	0.48	0.47	0.46	0.01
	原架构	1.53	1.60	1.52	1.58	1.61		
23	本设计	0.46	0.49	0.46	0.45	0.47	0.47	0.02
	原架构	2.00	1.95	1.98	2.11	2.07		
17	本设计	0.47	0.46	0.50	0.48	0.47	0.48	0.02
	原架构	2.67	2.53	2.58	2.49	2.61		
13	本设计	0.52	0.48	0.47	0.50	0.48	0.49	0.02
	原架构	2.80	2.93	2.81	2.90	2.77		

由表 1、2 可知:随信号强度下降,原同步发送架构发送数据的丢包率明显增大,本文中架构丢包率受信号影响较小,且个体之间相对稳定。

4.2 实车验证

基于上述实验室验证结果,随机选取全国不同地区的 10 台上线率较高的商用车进行测试,10 台车均为豪沃同车型、配套同型号车载终端、并均以高速运输为主。10 台车原车远程终端采用数据同步发送方式,经云平台后台数据统计计算,数据丢包率为 1.5%~3.0%^[10],平均丢包率为 2.3%。在远程终端硬件不变的情况下,将 10 台车全部升级为改进的异步发送架构软件,监控运行一个月的数据。将验证期间上传的理论数据与实际发放数据进行对比,结果如表 3 所示。由表 3 可知:绝大部分车辆丢包率与实验室场景验证数据接近,且均远低于同步架构数据传输的丢包率。

表 3 实车验证结果

车辆编号	采集变量个数	理论发送报文数	实际上传报文数	丢包率/%
1	35	860 329	856 469	0.45
2	27	628 420	625 477	0.47
3	13	109 854	108 755	0.10
4	33	682 043	678 361	0.54
5	34	902 687	898 065	0.51
6	29	652 348	647 826	0.59
7	26	543 186	540 534	0.49
8	40	923 548	918 070	0.59
9	32	658 431	652 176	0.95
10	25	452 183	450 266	0.42

因条件限制,本次验证选择的数量和车型有限。但因文献[11-12]对商用车车载终端的共性要求,同型号车载终端亦可适配到其他类型商用车,因此本文中设计方法具备一定的普遍适用性。本文中的方法着重于硬件不变且软件架构未大幅调整的情况下提高数据发送质量,相较文件上传、硬件强化等模式具备更好的普适性,该方法可以与硬件强化等结合使用,如车载终端更换 5G 通信模式,预计将进一步降低丢包率,提高数据传输质量。

本方法目前存在一定的局限性:1)缓存池模式可能导致数据上传实时性下降,更适用于数据采集实时性要求较低的场景,对远程数据标定或远程控制等对延时较敏感的场景适用性不足;2)本文中验证的网络运营商、车载终端、车型等种类较少。后续计划开展规模更大、持续时间更长的市场验证,覆盖更多使用场景;在验证过程中,逐步优化缓存池调用模式,确保仅在必要场景下调用,进一步提高网联数据异步发送方法的应用价值。

5 结论

本文中设计了一种异步缓存池发送功能架构,通过网联数据异步发送方式,将数据接收和发送过程拆分,并可在后台灵活配置采集变量和参数。分析了数据传输丢包率及其受信号强度的影响,本文中设计的异步数据发送架构在数据传输鲁棒性方面明显优于同步发送架构,提高了网联数据的传输质量。

1)缓冲池模式是盲区存储和实时发送两个环节之间的补充机制,可以有效提高 TCP 模式下盲区判断状态过程中的数据传输完整性,显著降低数据传输丢包率,有助于提高车载终端数据传输质量;针对信号变化幅度较大或通信强度较低等信号质量较差的场景,缓存池模式提高数据传输质量的效果更佳。

2)网联异步传输架构可以提高远程数据传输的速率、可靠性、稳定性,降低车载终端软件的重复开

发;还可使云平台复用同一服务器端口,提高其远程监控系统的兼容性与适应能力。

参考文献:

- [1] 贾先锋,王鹏程,刘天宇.基于智能网联汽车车载网络防护技术的研究[J].汽车实用技术,2022,47(1):32-35.
- [2] 刘佳,徐洋,戈学凯.基于异构处理器的新能源汽车车载终端的研究与设计[J].汽车零部件,2023(10):79-83.
- [3] 金宗轩,孙国皓,韩笑冬,等.一种基于嵌入式系统的远程文件传输方法[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2024,42(8):1-4.
- [4] 王峰.基于自适应蚁群的无线传感网络低延时远程通信路由优化方法[J].宁夏师范学院学报,2023,44(7):77-84.
- [5] 李杰,张培航.远距离无人机信号传输技术研究[J].物联网技术,2025,15(5):68-70.
- [6] 李成臻.ESP8266在智能温室远程监控系统中的数据传输优化研究[J].信息与电脑,2024(20):48-50.
- [7] 邱吉锋.基于单片机的嵌入式无线通信远程数据传输系统设计[J].家电维修,2025(2):86-88.
- [8] 梁勇.基于人工智能的智慧终端远程监测技术研究[J].中国宽带,2024(2):79-81.
- [9] 张勇.无线电信号传输过程中的电磁屏蔽技术分析[J].电子技术,2025,54(5):54-55.
- [10] 吴芳,梁启鹏,叶睿卿,等.基于丢包率估计的无线网络化控制系统的逼近控制策略[J].高技术通讯,2023,33(3):271-279.
- [11] 生态环境部.重型柴油车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段):GB 17691—2018[S].北京:中国环境科学出版社,2018.
- [12] 生态环境部.重型车排放远程监控技术规范:HJ 1239—2021[S].北京:中国环境科学出版社,2021.

Design and application of asynchronous data transmission architecture for a vehicle terminal

SUN Longyang^{1,2,3}, JI Shaobo^{2*}, LI Guopeng^{1,3}, ZHANG Yangliang^{1,3}

1. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China;

2. School of Nuclear Science, Energy and Power Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

3. State Key Laboratory of Engine and Powertrain System, Weifang 261061, China

Abstract: To address the issue of significant impact on vehicle terminal data transmission due to varying communication quality across regions and packet loss, this study further optimizes and enhances data transmission quality by designing an asynchronous architecture for data reading, storage, and transmission. Based on TCP protocol caching, a data buffer pool is introduced to separate data reception and transmission processes, enabling data buffering between blind zone storage and real-time transmission modes for vehicle terminals. By comparing data transmission performance before and after implementing this solution across 10 vehicles in different regions, the results show that the asynchronous vehicle-to-cloud data transmission architecture significantly improves data integrity and markedly reduces the impact of signal strength variations. The proposed architecture demonstrates notable effectiveness in enhancing data transmission quality and improves the adaptability of vehicle terminals to varying communication network conditions.

Keywords: vehicle terminal; data receiving; data caching; data packing; data transmission

(责任编辑:刘丽君)