

团体标准

T/CSAEXX—20XX

车载时间敏感网络中间件通用要求

General Requirements for In-vehicle Time-Sensitive Networking Middleware

报批稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 缩略语 3

5 车载 TSN 中间件工作逻辑框架 3

6 车载 TSN 中间件功能要求 5

7 车载 TSN 中间件性能要求 8

8 车载 TSN 中间件函数接口要求 9

9 车载 TSN 中间件运行要求 10

10 车载 TSN 中间件安全和管理要求 11

附录 A（资料性）车载 TSN 中间件应用场景 17

附录 B（资料性）车载 TSN 中间件开发流程和基于发布订阅和请求响应两种模式的通信库 18

参考文献 37

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国智能网联汽车产业创新联盟提出。

本文件起草单位：国汽（北京）智能网联汽车研究院有限公司、北京邮电大学、紫金山实验室

本文件参与起草单位：国汽（北京）智能网联汽车研究院有限公司、北京邮电大学、紫金山实验室、东南大学、上海北汇信息科技有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、惠州市德赛西威汽车电子股份有限公司、武汉光庭信息技术股份有限公司、国汽智控（北京）科技有限公司、中汽创智科技有限公司、岚图汽车科技有限公司、上海映驰科技有限公司、南京臻融科技有限公司、广州小鹏汽车科技有限公司、中国信息通信研究院、中国汽车工程研究院股份有限公司、中国质量认证中心有限公司、思博伦通信科技(北京)有限公司、北京交通大学、湖北汽车工业学院

本文件主要起草人：唐风敏、朱海龙、张华宇、常伟、彭开来、尹鸿苇、赵琳、汪芸、刘璟、黄韬、鲁京京、葛童、邱桥春、肖国利、钟成均、程德心、杨一帆、林明、王磊、刘琳琳、夏晶晶、方伟家、武亭、段勃勃、黄志勇、丘笑天、段志飞、梁灵、李巍、何巍、雷剑梅、徐维、李徐鹏、陈大为、钟晟、李宗辉、陈宇峰、向郑涛

车载时间敏感网络中间件通用要求

1 范围

本文件规定了车载以太网时间敏感网络（TSN）中间件工作逻辑框架及其技术要求。

本文件适用于通过 TSN 中间件对汽车 TSN 网络的规划和应用优化。

注：本文件旨在提高车载 TSN 通信中间件的实时性、互操作性、可靠性和安全性，满足智能网联汽车 TSN 网络通信需求，同时可支持 DDS 协议和 SOME/IP 协议。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 34590.6-2022 道路车辆 功能安全 第6部分：产品开发：软件层面

GB/T 40861-2021 汽车信息安全通用技术要求

GB/T 42586-2023 信息技术 系统间远程通信和信息交换事件敏感网络配置

IEEE 802.1AE-2018 IEEE 局域网和城域网标准 媒体访问控制（MAC）安全（IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Media Access Control (MAC) Security）

IEEE 802.1AS-2020 IEEE 局域网和城域网标准 桥接局域网中时间敏感应用的定时与同步（IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks）

IEEE 802.1CB-2017 IEEE 局域网和城域网标准 用于可靠性的帧复制和消除（IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Frame Replication and Elimination for Reliability）

IEEE 802.1Qav-2009 IEEE 局域网和城域网标准 虚拟桥接局域网修正案12：时间敏感流的转发和队列增强功能（IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Virtual Bridged Local Area Networks Amendment 12: Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams）

IEEE 802.1Qbv-2015 IEEE 局域网和城域网标准 桥接和桥接网络 修正案25：计划流量增强功能（IEEE Standard for Local and metropolitan area networks -- Bridges and Bridged Networks - Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic）

IEEE 802.1Qcc-2018 IEEE 局域网和城域网标准 桥接和桥接网络 修正案31：流预约协议（SRP）增强和性能改进（IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Bridges and Bridged Networks -- Amendment 31: Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements）

IEEE 802.1Qci-2017 IEEE 局域网和城域网标准 桥接和桥接网络 修正案28：逐流过滤和策略管理（IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Bridges and Bridged Networks—Amendment 28: Per-Stream Filtering and Policing）

RFC 2409 互联网密钥交换 (IKE) (The Internet Key Exchange (IKE))
RFC 4302 IP 认证报文头 (IP Authentication Header)
RFC 4303 IP 封装安全有效载荷 (ESP) (IP Encapsulating Security Payload (ESP))
RFC 8446 传输层安全 (TLS) 协议 1.3 版 (The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3)

3 术语和定义

GB/T 42586-2023界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

时间敏感网络 time-sensitive networking (TSN)

基于IEEE 802.1 TSN任务组制定的一整套数据链路层协议规范构建的支持时间同步、确定性调度机制、提供可靠的、低延迟及确定性数据传输能力的以太网。

[来源: GB/T 42586-2023, 3.1]

3.2

车载 TSN 中间件 in-vehicle time-sensitive networking middleware

为车载数据通信提供 TSN 服务功能的软件程序,可作为汽车 SOA 架构下的通信中间件为车载 TSN 端设备、车载 TSN 交换机、TSN 网关提供二层网络管理控制功能,提供标准的服务调用接口和通信方法,满足车载通信业务端到端的确定性通信需求。

3.3

TSN 服务程序 TSN service program

为车载 TSN 端设备应用程序提供 TSN 服务的程序,提供标准的服务调用接口。

3.4

TSN 网络主控程序 TSN network control program

控制、管理和配置车载TSN交换机、TSN网关的二层网络的程序。

3.5

集中网络配置 central network configuration (CNC)

应用程序(用户)配置时间敏感网络资源的集中式组件。

[来源: GB/T 42586-2023, 3.5]

3.6

集中用户配置 central user configuration (CUC)

用于发现终端站数量、检索终端站功能和用户需求,并配置终端站时间敏感网络参数的集中式组件。

[来源: GB/T 42586-2023, 3.6]

3.7 通信流对 stream pair communication

发送者和接收者之间建立的通信流对。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

API:应用程序接口 (Application Programming Interface)

CLI: 命令行界面(command line interface)

CPU: 中央处理器(Central Processing Unit)

DDS: 数据分发服务(data distribution service)

DHCP: 动态主机配置协议(Dynamic Host Configuration Protocol)

ECU: 电子控制单元(Electronic Control Unit)

GUI: 图形用户界面(graphical user interface)

HPC: 高性能计算平台(High-Performance Computing)

HTTP: 超文本传输协议(Hypertext Transfer Protocol)

IPsec: 互联网安全 (Internet Protocol Security)

MACsec: 媒体访问控制安全(Media Access Control Security)

PSFP: 流过滤和监管 (Per-Stream Filtering and Policing)

SNMP: 简单网络管理协议(simple network management protocol)

SOME/IP: 面向服务的可扩展的以太网中间件(scalable service-oriented middleware over IP)

TCP: 传输控制协议(Transmission Control Protocol)

TLS: 传输层安全(Transport Layer Security)

UDP: 用户数据报协议(User Datagram Protocol)

VLAN: 虚拟局域网(Virtual Local Area Network)

5 车载 TSN 中间件工作逻辑框架

5.1 工作逻辑框架

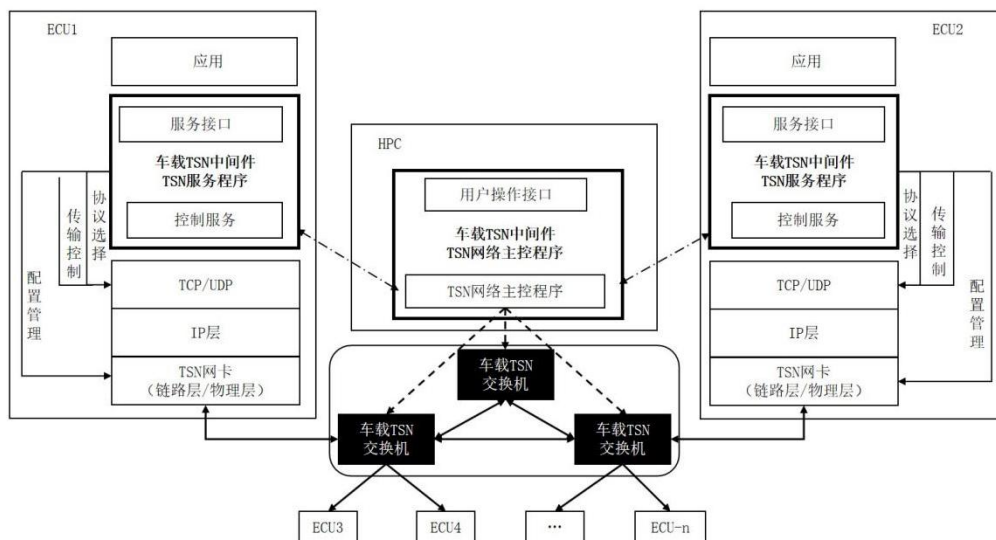


图 1 车载 TSN 中间件工作逻辑框架

车载 TSN 中间件和车载应用程序、TCP/IP 网络协议栈、TSN 网卡、TSN 交换机网络之间的工作逻辑应遵循图 1。车载 TSN 中间件应包含两个模块：TSN 服务程序和 TSN 网络主控程序。

TSN 服务程序应包含数据通路和控制通路，提供服务接口和控制服务功能，可运行在车载 ECU 中。TSN 网络主控程序应管理、配置、控制和监测 TSN 网络，宜运行在车载 HPC 中。两者之间需要交互以满足应用服务需求和提供网络服务资源。

注1：车载TSN中间件应用场景示例见附录A。

注 2：车载 TSN 中间件开发流程和基于发布订阅和请求响应两种模式的通信库见附录 B。

5.2 TSN 服务程序的层次架构



图 2 车载 TSN 中间件 TSN 服务程序层次架构

TSN 服务程序层次架构见图 2，可分为三个层次：

a) 服务层应提供车载 TSN 中间件的**服务接口**，供上层车载通信协议或应用程序调用，实现应用程序对 TSN 网络的数据发送和接收功能。该层应支持基于 SOME/IP、DDS 等车载通信协议的数据封装和解封装；

b) 服务层应提供**数据处理服务、资源感知服务、网卡配置服务和业务控制服务**。数据处理服务应根据时间戳、截止时间、优先级等信息对不同类型的数据进行分发、接收、缓存、过滤、转换和映射等操作。资源感知服务应负责跟 TSN 网络主控程序交互获取可用网络资源，跟操作系统交互获得本地 TSN 资源，如网卡资源信息、CPU 资源和内存资源等。网卡配置服务应负责对 TSN 网卡的参数、资源、策略等进行配置和更新。业务控制服务应负责对 TSN 网卡的时间同步、业务流调度、冗余传输等进行控制和调节；

c) 该层应提供**驱动程序接口（DPI）**，供服务层调用，实现对 TSN 网卡的底层访问和控制。该层应支持基于 TSN 的以太网帧的发送和接收，以及基于 TSN 的控制协议的执行和响应，如 gPTP、Qav、Qbv、CB 等。TSN 中间驱动层接口应由 TSN 网卡提供调用接口，包括设置 VLAN、优先级、门控列表等。

5.3 TSN 网络主控程序的层次架构

TSN 网络主控程序的层次架构包括如下：

a) **TSN 网络主控程序**应遵从 IEEE 802.1Qcc-2018，主要包括 CUC 和 CNC 功能。TSN 网络主控程序应遵照图 3，包括网络管理、网络配置和网络控制服务，并应提供用户操作接口；

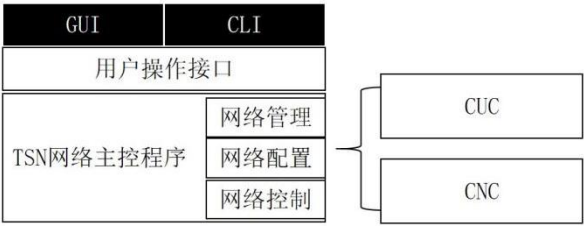


图 3 车载 TSN 中间件 TSN 网络主控程序层次架构

- b) **网络管理服务**应具备管理和规划车载网络资源信息的能力，应对 TSN 网络的拓扑结构、节点状态、流信息等进行感知、监测和维护；
- c) **网络配置服务**应对 TSN 网络的参数、资源、策略等进行配置和更新，应支持 TSN 交换机配置，根据数据流的 QoS 需求，为不同应用程序生成参数，包括可用的带宽、时间片和发送偏置。应具备自动发现、按需配置等功能，按需配置应支持静态配置，宜支持动态配置，降低网络管理和维护的复杂度和成本。网络配置服务应支持集中用户配置（CUC）和集中网络配置（CNC），其中 CNC 配置参数由业务映射与计算模块获得；
- d) **网络控制服务**应对 TSN 网络的时间同步、流预留、流整形、流冗余等进行控制和调节。应根据实时应用的通信需求，为实时应用分配网络资源，若网络资源不满足需求，应返回失败。应根据当前的时间和门控状态，决定哪些队列可以发送或接收数据，哪些队列需要等待或丢弃数据，以保证数据流的时延和抖动符合要求，应保证高优先级提供确定性的端到端延迟；
- e) **用户操作接口**应能接收用户通过 GUI 或 CLI 输入的交互需求或者反馈车载网络系统呈现的状态。

6 车载 TSN 中间件功能要求

6.1 TSN协议选择功能要求

车载 TSN 中间件应在确定 TSN 具备相应传输协议的基础上进行定义和协议选择，但不小于 TSN 具备的协议集合的最小值。该协议集合最小值可包括 IEEE 802.1AS-2020、IEEE 802.1Qbv-2015、IEEE 802.1Qav-2009、IEEE 802.1Qci-2017、IEEE 802.1CB-2017、IEEE 802.1Qcc-2018，在中间件运行阶段应默认开启，用户可根据需要选择关闭。

6.2 实时通信功能要求

车载 TSN 中间件应提供时延确定性和带宽保障的实时通信功能，应按照预设的时延和带宽进行调度和传输，避免数据流之间的干扰和拥塞。

车载 TSN 中间件应支持多种应用场景和业务需求，例如高清视频流传输、实时控制指令传输、远程诊断数据传输等。

车载 TSN 中间件应支持多种流量类型，如时间敏感流、预留流、尽力而为流等，能够根据流量类型的特点，进行相应的流量处理。车载 TSN 中间件应能支持周期性和事件触发类应用业务，有效地分配和调度网络资源，保证数据的传输质量和服务质量。

车载 TSN 中间件应支持单播、多播、广播三种数据传输方式。

6.3 TSN服务程序功能要求

6.3.1 时钟同步要求

TSN 服务程序时间同步有以下要求：

- a) TSN 服务程序应支持将所使用的操作系统时钟值与 TSN 数据链路层的时钟值对齐；
- b) TSN 服务程序应能从 TSN 数据链路层获取 TSN 时钟值，应能读取所在操作系统的时钟值；
- c) TSN 服务程序应具有时钟值转换机制，在进行数据收发时，支持操作系统时钟值与 TSN 数据链路层时钟值之间的互相转化。

6.3.2 承载实时应用的功能要求

6.3.2.1 承载实时应用通信要求

TSN 服务程序在承载应用通信需求时，用户宜根据通信需求选择采用实时或非实时通信，实时和非实时通信需求应由用户定义。当用户无法根据通信需求选择采用实时和非实时通信时，中间件宜具备根据通信需求参数进行分析分类的能力。

针对车载周期性通信应用，应提供不低于通信应用周期的承载能力。可提供通信应用周期 N 分之一周期的周期性报文传输能力，其中 N 为自定义的正整数。针对车载非周期性通信应用，应提供满足业务延迟、抖动要求的能力，宜支持将非周期性应用映射为周期性应用的能力。

6.3.2.2 数据收发调用函数接口要求

TSN 服务程序应向实时应用提供数据收发调用函数接口。可复用操作系统已有数据通信能力，调用传输层函数接口，对调用函数接口的时间和资源占用情况进行控制，实现实时应用数据的收发。

6.3.2.3 网络资源感知要求

TSN 服务程序应根据感知的网络资源情况，判决是否满足实时应用的通信需求。若满足，应响应成功；若不满足，应响应失败。TSN 服务程序应通过与 TSN 网络主控程序交互和与本地操作系统交互感知网络资源情况。

6.3.2.4 数据分发和接收要求

TSN 服务程序应根据应用数据的目的地址、优先级、时间戳等信息，将数据分发到相应的 TSN 流、TSN 队列、TSN 端口，或从相应的 TSN 流、TSN 队列、TSN 端口上接收数据。

6.3.3 承载非实时应用的功能要求

TSN 服务程序应支持非实时应用的数据通信需求，宜直接复用操作系统已有数据通信能力，调用传输层（TCP 或 UDP）函数接口，实现非实时应用数据的收发。应支持对非实时应用的通信数据赋予优先级的能力。针对非实时应用提供的优先级需求，中间件宜具备接纳、转换和拒绝的能力，以保证和实时应用的优先级需求兼容。

6.3.4 数据报文要求

TSN 服务程序根据数据的源地址、目的地址、优先级、时间戳等信息，对数据进行封装或解封装。应用程序应在发送报文的头部的特定位置，按照约定对应用程序进行标识，以便 TSN 网络设备识别关键业务，并给出相应的 QoS。数据报文格式遵从以太网格式，应具备设定 VLAN 字段的能力。

6.3.5 协议适配性功能

TSN服务程序应支持多种通信协议，以适应不同车内组件的通信需求。TSN服务程序应根据不同的应用需求选择网络协议。非实时应用通信需求可选择TCP或UDP协议，实时应用通信需求宜选择UDP协议。车载TSN中间件宜支持与HTTP、SNMP、DHCP、SOME/IP、DDS进行交互，应具备支持其他应用的扩展能力。

6.3.6 数据处理和缓存能力

TSN服务程序应具备对传输的数据进行处理、缓存和检索的能力，以支持车内组件之间的协同应用和数据交换。

6.2 TSN网络主控程序功能要求

6.2.1 网络管理控制功能

车载TSN中间件TSN网络主控程序和TSN服务程序之间信息交互应支持XML和JSON配置文件方式传递信息。网络流量的调度和整形应采用IEEE 802.1Qbv-2015协议，通过门控机制，将网络通信划分为连续重复的周期，为不同优先级的数据流分配不同的时隙。TSN网络主控程序应支持多种流量调度算法，能够根据流量调度算法的特点，进行相应的流量分配。

6.2.2 集中用户配置（CUC）

TSN网络主控程序的CUC功能应符合如下要求：

- a) TSN网络主控程序应支持接收并处理来自TSN服务程序的业务请求；
- b) TSN网络主控程序应具有将TSN服务程序的业务请求转换为网络QoS需求的能力，网络QoS指标包含带宽、时延、抖动和丢包率；
- c) CUC传递参数应符合IEEE 802.1Qcc-2018的要求，数据传递格式应至少支持XML或JSON一种格式。

6.2.3 集中网络配置（CNC）

TSN网络主控程序的CNC功能应符合如下要求：

- a) TSN网络主控程序应支持TSN静态资源获取，包含TSN交换机资源（配置管理接口、数据端口数量、端口带宽和交互延迟）、TSN网关资源（配置管理接口、TSN端口数量、TSN端口带宽和处理延迟）和TSN端设备网卡资源（网卡型号、I/O带宽、缓冲大小、队列数目和门控数目）。若TSN网关是协议转化网关，还需获取转化的协议类型，并将它们注册到相应的资源数据库；
- b) TSN网络主控程序宜支持动态资源感知能力，支持LLDP协议（链路层发现协议）用于链路发现，动态发现网络中的所有TSN设备运行状态、网络拓扑、链路带宽信息和状态；
- c) TSN网络主控程序应具有将网络QoS需求传递给CNC的能力。CNC应根据网络QoS需求，基于业务映射与计算模块，计算网络配置参数；
- d) TSN网络主控程序应支持TSN资源配置管理能力，应支持SNMP或Netconf协议用于配置管理；
- e) TSN网络主控程序应支持网络状态监听功能，应定期或自定义方式获取所有端口的状态监听信息。TSN网络主控程序应提供端口状态信息访问的API接口。API接口应包含端口计数、门控参数；
- f) 针对Qci监测的异常流量信息，可提供告警信息，TSN网络主控程序可提供日志记录信息；
- g) TSN网络主控程序性能要求包含响应时间、资源占用情况、兼容性、扩展性，体现实现方式；
- h) TSN网络主控程序应监测网络中的故障情况，如设备掉线、链路断开、流中断等，并采取相应的恢复措施，如重新配置、切换备份路径、启用冗余机制等。

6.2.4 业务映射与计算功能要求

业务映射与计算应能够根据网络中的流需求和资源情况，进行网络资源的分配和释放参数的计算。带宽、缓存、队列、时隙等网络资源的分配和释放应考虑网络中的优先级、QoS、冲突、拥塞等因素，以实现网络资源的高效利用和公平分配。车载TSN业务映射与计算应符合下列功能要求。

- a) TSN网络主控程序应支持不同业务参数到网络资源的映射与计算。业务参数应包括以下内容：
 - 1) 全局唯一应用标识；
 - 2) 源地址、源端口、目的端口、目的地址、VLAN；
 - 3) 数据报文长度、周期大小、数据优先级、所能接受的最大传输时延。
- b) TSN网络主控程序应根据业务参数信息，计算出所需的网络配置参数。TSN网络主控程序应根据所计算的网路配置参数，配置下发获取可用的网络资源。网络配置参数应包括以下内容：
 - 1) 每台交换机的入端口的Qci过滤列表，出端口的Qbv门控列表；
 - 2) 每条业务数据流可用时隙或发送偏置，发送偏置可为一个或多个值。
- c) TSN网络主控程序应将网络资源与相应业务建立映射，供应用程序传输数据时使用。应支持严格优先级的映射机制，可支持RMS（单调速率调度，Rate-monotonic Scheduling）、EDF（最早截止时间优先，Earliest Deadline First）映射机制。
- d) TSN网络主控程序应支持业务需求聚合后映射，即相同周期、相同优先级的业务应聚合。
- e) TSN网络主控程序计算模块应支持根据用户需求选定调度算法，衡量算法的性能指标应包含车载网络带宽利用率、车载通信流对数目、车载网络拓扑和拓扑规模、端到端最大延迟和最大抖动。

6.2.5 用户操作接口

用户操作接口应能被整车企业集成使用。用户操作接口应支持管理员模式和普通用户模式。管理员模式应包含车载中间件的所有权限，包括查询中间件状态，配置和修改中间件参数；普通用户模式应具备查询数据流信息需求。

TSN网络主控程序应支持CLI操作，宜具备GUI；如果具备GUI，应简洁易操作。

用户操作接口应提供管理态信息和运行态信息，具体信息如下。

- a) 管理态信息应包含：
 - 1) 业务参数信息，每个业务的业务参数信息；
 - 2) 网络资源参数信息，每个业务的带宽、队列、时隙参数；
 - 3) 网络状态信息，TSN全网拓扑信息、每个端口的Qbv门控列表、Qci门控列表。
- b) 运行态信息应包含：
 - 1) TSN中间件的启动时刻、运行时长；
 - 2) TSN中间件支持的应用数目；
 - 3) TSN中间件支持的应用类型；
 - 4) 正在使用TSN中间件收发数据的应用标识；
 - 5) 业务的端到端延迟和抖动信息；
 - 6) 网络状态信息，包括TSN全网拓扑信息、每个网络节点端口流量统计信息、每个端口的缓存负载率和丢包率；
 - 7) 资源状态信息，包括CPU、内存、网络占用情况。

7 车载 TSN 中间件性能要求

车载 TSN 中间件性能要求如下。

- a) 时钟同步精度要求包括：
 - 1) 操作系统时钟值和 TSN 时钟值转换精度应不大于 100us；

- 2) 在 TSN 异步整形机制下操作系统时钟值和 TSN 时钟值偏差宜不超过 1ms。
- b) 延迟与抖动要求：TSN 服务程序承载时间敏感流的报文端到端的传递延迟应不高于 10ms，抖动精度应不高于 5ms。
- c) 响应时间要求：车载 TSN 中间件应满足限定场景下需满足的性能要求。
- d) 承载业务要求包括：
- 1) 车载 TSN 中间件承载业务数量应不少于 500 个；
 - 2) 车载 TSN 中间件 TSN 服务程序承载业务控制精度应不高于 1ms。
- e) 调度算法要求包括：
- 1) 车载网络带宽利用率应不超过 70%，宜不超过 50%；
 - 2) 组播的通信流条目数按照组播组大小计算，调度算法应具备不少于500条通信流对的调度能力；
 - 3) 车载网络拓扑包含域集中或中央集中架构的中央网关式星型网络拓扑、环形网络拓扑等；
 - 4) 端到端最大延迟和最大抖动应该有调度算法给出保障值。

8 车载 TSN 中间件函数接口要求

车载TSN中间件TSN服务程序提供的函数接口应符合表1的规定。

表1 车载TSN中间件TSN服务程序提供的函数接口列表

接口名称	接口形式	接口说明
实时应用网络资源请求接口	Returncode tsn_resource_req(BusinessDataParams, reserve)	BusinessDataParams: 业务数据 参数; reserve:保留参数
实时应用数据发送接口	Returncode tsn_send(send_params, peiord, offset)	send_params: 见 IEEE 1003.1- 2017规定的socket标准中的send 接口参数; period: 发送周期; offset: 时间偏置
实时应用数据接收接口	Returncode tsn_rcv(rcv_params , peiord) 或者 Returncode tsn_rcv(rcv_params , peiord, offset)	rcv_params: 见 IEEE 1003.1- 2017规定的socket标准中的rcv 接口参数; period: 发送周期; offset: 时间偏置
车载TSN中间件启动接口	Returncode tsn_midware_start()	
车载TSN中间件重启接口	Returncode tsn_midware_restart()	
车载TSN中间件关闭接口	Returncode tsn_midware_close()	
注1: IEEE 1003.1-2017规定的socket标准给出了标准套接字socket接口, 包括创建套接字、绑定套接字、关闭套接字函数。		
注2: IEEE 1003.1-2017规定的socket标准给出了针对非实时应用数据的发送函数和接收函数。		

车载TSN中间件TSN服务程序提供的函数接口说明如下。

- a) 车载TSN中间件针对实时应用数据提供的函数接口应满足下列要求：
- 1) 实时应用网络资源请求接口用于SOME/IP、DDS请求网络资源。业务数据参数结构体中应包含业务数据的字节长度、周期、优先级、最大传输时延参数，保留参数应为4字节的整型参数，用于传递一些特定信息，其默认值为0。此接口返回分配的网络句柄，该句柄指向如下信息，包括分配的带宽、发送周期、时间偏置或时间片；
 - 2) 实时应用数据发送接口用于实时应用调用该接口，以发送数据。此接口应在socket标准的send接口参数基础上，增加发送周期和时间偏置或时间片参数，返回值returncode应与socket标准的send接口保持一致；

3) 实时应用数据接收接口用于实时应用调用该接口，以接收数据。此接口应在socket标准的recv接口参数基础上，增加发送周期和时间偏置，返回值应与socket标准的recv接口保持一致。若tsn_send采用时间偏置作为发送参数，tsn_recv应保留发送周期参数；若tsn_send采用时间片作为发送参数，tsn_recv应保留发送周期和时间片参数。

b) 车载TSN中间件针对中间件的启动、重启和关闭功能提供的函数接口应满足下列要求：

1) 车载TSN中间件启动接口用于初始时启动中间件。此接口没有参数，应返回整数值。返回值默认为0，表示启动成功，-1表示启动失败；

2) 车载TSN中间件重启接口用于重新启动中间件。此接口没有参数，应返回整数值。返回值默认为0，表示重启成功，-1表示重启失败；

3) 车载TSN中间件关闭接口用于关闭中间件。此接口没有参数，应返回整数值。返回值默认为0，表示关闭成功，-1表示关闭失败。

c) 车载TSN中间件针对实时应用应遵循下列数据收发流程：

1) 实时应用调用TSN中间件请求接口，获取可用的资源；

2) 实时应用调用发送接口，由TSN网络主控程序进行传输控制；

3) 若存在事先约定的时间片，收发双方应以时间片作为标识。

d) 非实时应用和实时应用应由自身需求选择调用何种函数接口。

9 车载TSN中间件运行要求

9.1 车载TSN中间件运行环境要求

车载TSN中间件TSN服务程序位于OSI或TCP/IP网络参考模型的应用层，同时该TSN服务程序具备直接访问控制数据链路层的能力。该模块所在运行环境宜为实时操作系统。可作为操作系统的系统组件被操作系统集成，也可作为固件在没有操作系统的嵌入式系统运行。该模块运行需从应用层到物理层覆盖实时性。运行设备应配置TSN网卡，中间件应具备调用TSN网卡驱动TSN相关配置接口和函数接口的能力。

车载TSN中间件TSN网络主控程序位于OSI或TCP/IP网络参考模型的应用层，对其直接访问控制网络数据链路层的能力不做约束。该模型所在运行环境可为分时操作系统。可作为操作系统的系统组件被操作系统集成，也可作为固件在没有操作系统的嵌入式系统运行。该模块运行对实时性无强制性要求。运行设备可配置普通网卡。

9.2 车载TSN中间件运行要求

车载TSN中间件应提供启动、重启、关闭该中间件的接口，并满足下列启动、重启、关闭机制。

a) 应用程序初始上电时，应调用车载TSN中间件启动接口，以启动中间件。若接口返回失败，应重新调用启动接口。若调用启动接口超过阈值，则停止调用启动接口，并抛出告警，该阈值大小由应用决定。

b) 应用程序在运行过程中应能调用车载TSN中间件的重启接口，以重启中间件。若接口返回失败，应重新调用重启接口。若调用重启接口超过阈值，则停止调用重启接口，并抛出告警，该阈值大小由应用决定。

c) 应用程序在运行过程中或即将退出时，应能调用车载TSN中间件的关闭接口，以关闭中间件。若接口返回失败，应重新调用关闭接口。若调用关闭接口超过阈值，则停止调用关闭接口，并抛出告警，该阈值大小由应用决定。

d) 车载TSN中间件在启动时，应以独立进程的形式运行，支持多线程运行。车载TSN中间件应

在启动或关闭时，同时启动或关闭 TSN 服务程序，TSN 服务程序应以线程的方式运行。

e) 车载 TSN 中间件进程应按照操作系统的调度机制进行调度，应与操作系统其他应用程序进程的调度保持一致。车载 TSN 中间件进程可根据需要设置较高的任务优先级。

f) 车载 TSN 中间件的中断响应机制应与操作系统其他应用程序进程的中断响应机制保持一致。

g) 在没有操作系统的嵌入式系统运行时，TSN 网络的发送者和接收者、数据的周期和大小、通信路径应以静态文件的形式写入。TSN 网络配置信息应支持根据该静态文件计算和调度配置参数，可支持读取已有参数。系统上电前由用户导入网络配置参数，上电初始化过程完成网络配置，系统运行过程中或到下一次上电结束前，TSN 中间件只保留网络监测功能，不再具备网络配置能力。

10 车载 TSN 中间件安全和管理要求

10.1 可靠性要求

车载 TSN 中间件可靠性要求如下：

- a) 车载 TSN 中间件应符合 GB/T 40861-2021 和 GB/T 34590.6-2022 的要求；
- b) 车载 TSN 中间件在收发数据时应保证数据无丢失、无乱序，满足周期、时间片要求；
- c) 车载 TSN 中间件可具备数据校验功能，保障数据传输的可靠性；
- d) 车载 TSN 中间件可具备数据重传功能，根据应用需求制定重传策略；
- e) 车载 TSN 中间件针对丢包、乱序、校验错误等异常情况均应抛出告警，宜支持使用 IEEE 802.1CB-2017 来提高可靠性；
- f) 车载 TSN 中间件可根据网络中的流性能、网络性能、网络故障等信息，进行网络优化的评估和调整。网络优化可采用离线模式测试验证后，融入下一个软件版本，待版本升级后方可实施。

10.2 系统安全要求

车载 TSN 中间件系统安全要求如下：

- a) 车载 TSN 中间件应提供安全机制，保证数据传递的安全性。应能够对通信数据内容进行加密或签名，使未经授权的通信第三方无法获取或修改数据内容；
- b) 车载 TSN 中间件应提供验证和授权机制，应能够识别加入中间件通信的节点是否经过授权，确保只有授权用户才能访问系统组件；对于未经授权的节点，应能够拒绝其通信；
- c) 车载 TSN 中间件应支持动态的安全性，支持动态的角色映射，允许管理员进行安全策略的定义；
- d) 车载 TSN 中间件应提供控制数据访问范围的功能，对于每个节点，应能够分别控制其是否允许提供数据和是否允许获取数据；
- e) 车载 TSN 中间件应支持网络的监测、诊断、隔离和修复等功能，及时发现和处理网络异常或故障；
- f) 车载 TSN 中间件应支持数据的备份、恢复和清除等功能，防止数据丢失或泄露；可利用安全机制来实现数据安全，包括 TSN 协议中的 MAC 安全（MACsec）、流过滤和监管（PSFP）等机制，以及车载数据分发协议中的安全机制，如 DDS 的安全插件（DDS-Security）和 SOME/IP 的安全扩展（SOME/IP-SEC）等。

10.3 功能安全要求

车载 TSN 中间件功能安全要求如下：

- a) 车载 TSN 中间件故障恢复能力应符合 GB/T 34590.6-2022 中的规定。故障恢复能力应支持无缝故障切换及接管；

b) 车载 TSN 中间件应能复用 IEEE 802.1AE-2018、RFC 4302、RFC 4303、RFC 2409、RFC 8446 中的 MACsec、IPsec、TLS 等车载软件通用安全框架和技术；

c) 车载 TSN 中间件应能探测 TSN 网络的异常状态，包括通信组件异常、交换机异常、通信链路异常、丢包、拥塞、通信延迟和带宽参数异常；

d) 车载 TSN 中间件应具备异常状态上报能力，提供异常上报告警信息；支持应用程序能根据异常信息进行处置，包括 TSN 中间件的关闭、重启等操作；

e) 车载 TSN 中间件应支持系统的测试、验证、评估和优化等功能，确保系统的功能和性能符合预期和标准；车载 TSN 中间件还应支持系统的更新、升级、替换和回滚等功能，确保系统的及时性和兼容性；车载 TSN 中间件可利用车载软件版本管理和兼容性检查等机制，来实现系统安全的要求。

10.4 管理要求

车载 TSN 中间件管理要求如下：

a) 车载 TSN 中间件应支持离线升级；

b) 车载 TSN 中间件应支持故障检测机制；当中间件发生故障时，支持保留现场，输出异常日志，并抛出告警；车载 TSN 中间件应能够对网络中的所有数据流和事件进行完整和准确的记录和存储，以形成网络的日志数据；网络监测模块还需要能够对网络的日志数据进行快速和灵活的查询和检索，以支持网络的故障排除、性能优化、安全分析等需求；

c) 车载 TSN 中间件应支持生产环境下的应用重新部署，同时不影响业务系统的正常运行；

d) 车载 TSN 中间件应支持 SNMP 协议，能够与 SNMP 管理工具进行有效集成；宜支持 Netconf 协议/YANG（数据建模语言）模型传递配置参数；

e) 车载 TSN 中间件应提供基于命令行的管理工具；

f) 车载 TSN 中间件应提供多种日志，支持日志定制与日志国际化；

g) 车载 TSN 中间件应跟踪和管理软件的不同版本，确保每个版本的稳定性和兼容性。可记录每次软件更新的唯一识别码，以便进行追踪和认证；

h) 车载 TSN 中间件应确保软件在不同的车辆和环境中正确运行，包括对软件组件、依赖关系和设置的管理，以便于在需要时可以快速定位问题并进行修改；应对配置项（如需求、设计、代码、测试用例等）进行管理，以确定配置项的基线、控制配置项的变更、审核配置项的状态、审计配置项的合规性；

i) 应对车载 TSN 中间件的测试活动进行管理，以制定测试计划、分配测试资源、执行测试用例、记录测试结果、分析测试缺陷、评估测试覆盖率和质量；测试管理需要有一套完整的流程，包括单元测试、集成测试和系统测试等；

j) 对车载 TSN 中间件的维护应包括对现有软件进行修改以纠正错误、提高性能或适应新的环境变化，以及考虑与其他车载系统的兼容性和对安全的影响；应对车载 TSN 中间件的维护活动进行管理，包括接收和处理软件的故障报告，分析和定位软件的故障原因，修复和验证软件的故障，发布和部署软件的维护版本。

附录 A
(资料性)
车载 TSN 中间件应用场景

车载 TSN 中间件可应用于车载电子控制单元（ECU）之间的通信，见图 A. 1。

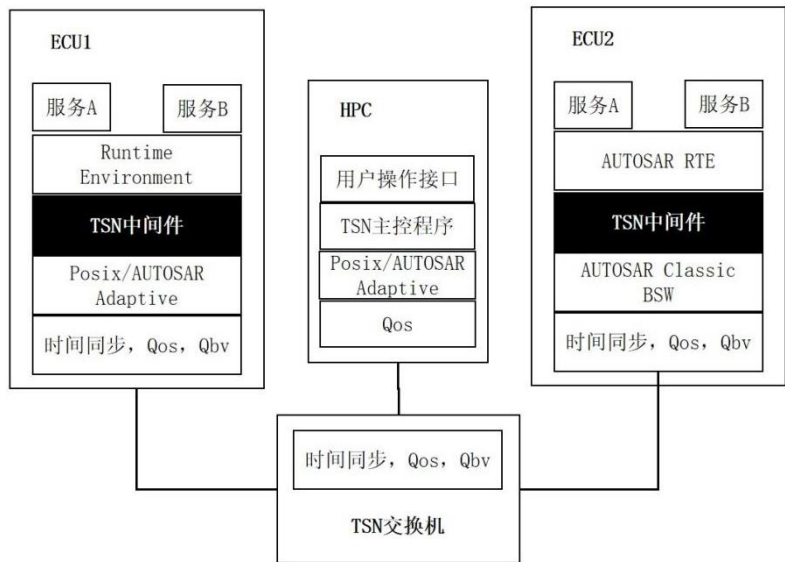


图 A. 1 车载 ECU 数据通信

AUTOSAR 通信协议栈中车载 TSN 中间件程序的位置可参考图 A. 2。

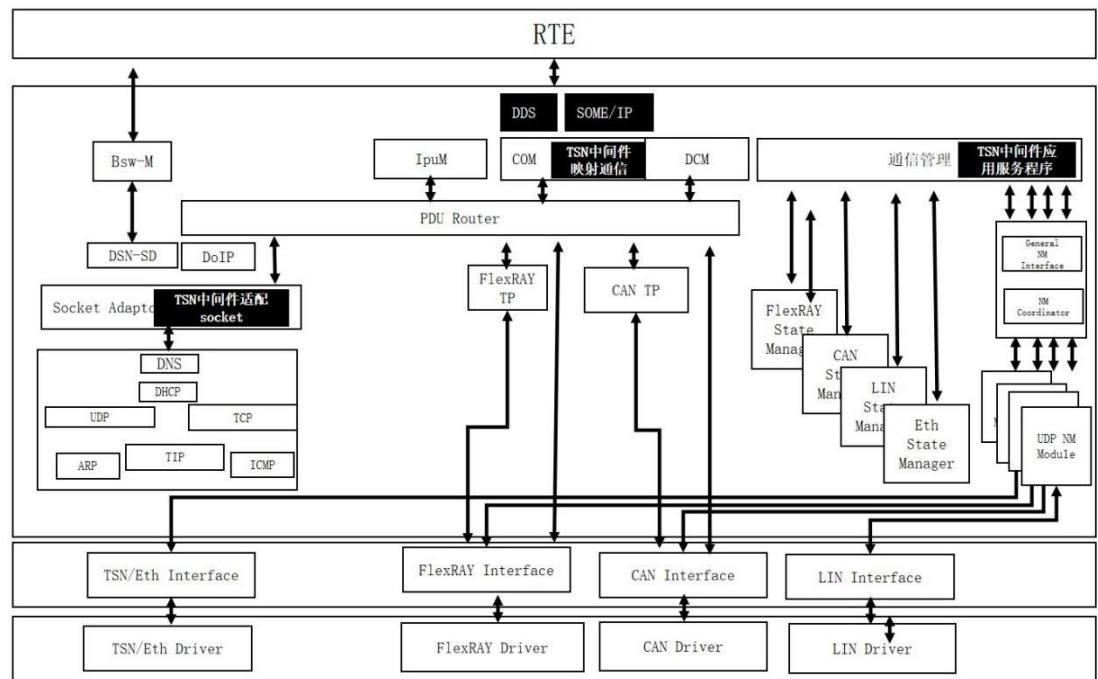


图 A. 2 AUTOSAR 通信协议栈中车载 TSN 中间件程序的位置

附 录 B
(资料性)

车载 TSN 中间件开发流程和基于发布订阅和请求响应两种模式的通信库

B.1 车载 TSN 中间件开发流程

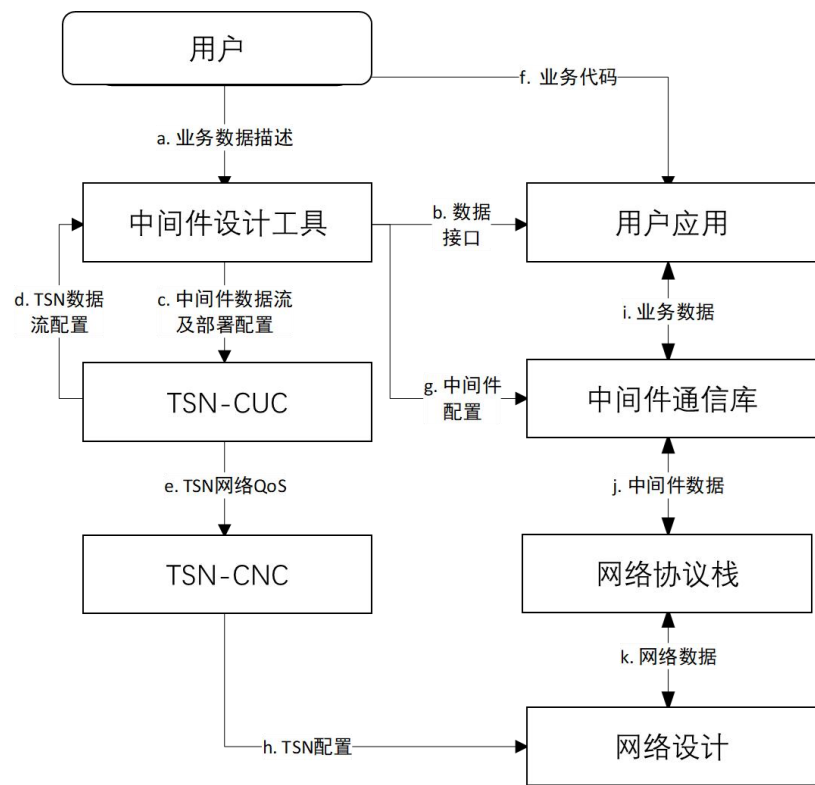


图 B.1 中间件开发流程

车载 TSN 中间件应通过中间件通信库和中间件设计工具进行开发。中间件通信库是直接参与用户应用运行的支持库或服务，向用户应用提供通信的相关接口，并将用户数据封装成数据包，通过 TSN 或普通网络进行发送。中间件设计工具则提供业务数据相关的设计功能，并生成相应的接口和配置供用户使用。

系统完整的开发流程可参考图 B.1。开发流程说明如下：

- a) 用户通过中间件设计工具描述其业务系统所需要使用的数据及相关属性（图 4 中的 a），包括数据格式、类型、数据收发模式、发送方位置及数量、接收方位置及数量、发送周期、最大长度、QoS 要求等；
- b) 中间件设计工具根据用户配置生成发布/订阅或者请求/响应接口（图 4 中的 b），提供给用户进行数据收发相关的操作，同时生成中间件时间敏感数据流及部署配置（图 4 中的 c），提供给 TSN-CUC 对 TSN 进行配置；
- c) TSN-CUC 根据数据流和部署配置生成 TSN 数据流相关的配置（图 4 中的 d），包含数据流 VLAN ID、优先级等，返回到中间件设计工具中，同时，TSN-CUC 还会生成 TSN 网络 QoS（图 4 中的 e），作为 TSN-CNC 的输入；
- d) 用户通过中间件设计工具和中间件通信库提供的接口开发应用（图 4 中的 f），按照设计编写

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/435044100322011313>