

汽车电子系统软件开发新标准 AUTOSAR

阴晓峰¹, 刘武东²

(1. 西华大学汽车工程研究所, 四川 成都 610039; 2. 雅安市机动车检测站, 四川 雅安 625000)

摘 要: 分析了汽车电子系统软件开发新标准 AUTOSAR 技术, 该技术由架构、方法学和应用接口组成, 其中, AUTOSAR 架构采用由应用软件组件 (SW-Cs)、虚拟功能总线 (VFB)/运行时环境 (RTE) 和电控单元基础软件 (BSW) 栈构成的分层结构; AUTOSAR 方法学定义了由软、硬件组件的形式描述构建汽车电子系统架构的方法。对该标准 I 阶段和 II 阶段的研究与应用进展进行了总结, 对 III 阶段工作进行了展望, 并对我国汽车电子相关企业实施 AUTOSAR 标准提出了建议。

关键词: 汽车; 电子系统; 软件; 标准; AUTOSAR

中图分类号: U46; TP319; TP271 + .5

文献标识码: A

AUTOSAR - a New Standard of Software Development for Automotive Electronic Systems

YIN Xiao-feng¹, LIU Wu-dong²

(1. Institute of Automotive Engineering, Xihua University, Chengdu 610039 China;

2. Ya'an Motor Vehicle Inspection Station, Ya'an 625000 China)

Abstract: The technology of Automotive Open System Architecture (AUTOSAR), a new standard of software development for automotive electronic systems, which consists of architecture, methodology and application interfaces, was analyzed. AUTOSAR architecture is designed with a hierarchical structure consisting of application software components (SW-Cs), virtual functional bus (VFB) / runtime environment (RTE), and basic software (BSW) stack of electronic control unit (ECU). AUTOSAR methodology is used to construct the architecture of automotive electronic system from the formal description of software and hardware components. Furthermore, the research and application progresses in phase I and II were summarized, and the outlook of phase III was given. In addition, a proposal of introduction of AUTOSAR standard into automotive electronics related enterprises in China was put forward.

Key words: automobile; electronic system; software; standard; AUTOSAR

0 前言

电子技术在提升汽车传统性能的同时亦拓展了其功能, 从实现汽车基本功能的子系统到车载信息娱乐装置, 电子技术在汽车上的应用几乎无处不在。但是, 电子装备的增多也使汽车电子系统的复杂度呈指数增长^[1-2]。如何有效管理日趋复杂的汽车电子系统, 并最大限度地降低开发和维护成本, 已成为全球汽车电子相关企业共同面临的技术难题。目前, 传统的电控单元 (Electronic Control Unit, ECU) 驱动的开发模式, 已难以适应汽车电子系统复杂性管理、产品灵活修改、升级和更新、产品线内外解决

方案扩展、以及系统质量和可靠性提高的要求, 将逐渐为功能驱动的、面向架构集成的开发模式所取代。为使国内汽车电子系统研发人员对这一发展趋势有较为全面的了解, 本文分析了汽车电子系统软件开发的新标准 - AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture^[3], 汽车开放系统架构) 技术, 总结了其阶段进展, 并对我国实施 AUTOSAR 标准提出了一些建议。

1 AUTOSAR 技术

AUTOSAR 的具体目标是实现: (1) 基础系统功能作为 OEM 的“标准核”方案实施并标准化; (2) 在

收稿日期: 2010-01-26

基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金项目

作者简介: 阴晓峰 (1972-), 男, 四川内江人, 教授, 博士, 主要研究方向为汽车传动控制、汽车嵌入式软件及车用网络技术。

不同车辆及平台变型上的可扩展性;(3)在整个网络范围内的功能可转移性;(4)多供应商功能模块的集成;(5)可用性及安全性需求;(6)冗余激活;(7)整个产品生命周期的可维护性;(8)增加使用可现货供应(COTS)的硬件;(9)车辆生命期内的软件更新和升级。为实现上述目标,AUTOSAR 技术包含了三个方面的内容:架构(Architecture)、应用接口(Application Interfaces)和方法学(Methodology)。

1.1 AUTOSAR 架构

AUTOSAR 的基本设计概念是实现应用/功能软件组件(SW-Cs)与基础软件(BSW)的隔离(进而独立于底层硬件)。AUTOSAR 架构如图 1^[4]所示,该架构划分为三个大的层次:顶层为应用层(Application Layer),是相互交互的应用/功能软件组件的集合;底层为微控制器(Microcontroller)硬件;中间层由 AUTOSAR 运行时环境(RTE)和一套完整的被称为 AUTOSAR BSW 的 ECU 基础/环境软件栈组成,作为独立于硬件的应用软件集成平台。

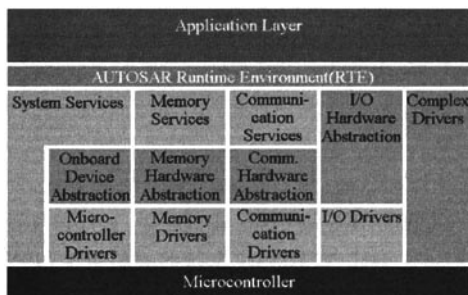


图1 AUTOSAR 架构

每个 AUTOSAR SW-C 封装了某一具体应用的部分或全部功能,并具有“原子”性,即不能分割至多个 ECU。SW-C 的实现独立于其所在的微控制器和 ECU 类型、与其交互的 SW-C(s)的具体位置、以及其在一个系统或 ECU 中被实例化的次数。此外,作为特殊的 SW-Cs,传感器/执行机构软件组件则封装了应用对特定传感器/执行机构的依赖性。

在 AUTOSAR 架构中,SW-Cs 相对于底层硬件的独立性是通过虚拟功能总线(VFB)来实现的。VFB 作为 SW-Cs 之间互联的抽象,其功能由定义良好的通信模式提供,支持客户/服务器(C/S)和发送者/接收者(S/R)两种通信模式。VFB 由图 1 所示架构中的 RTE 及其下的 BSW 共同实现。

在系统设计层次,RTE 作 ECU 内外部信息交换的中心,无论通信是发生在 ECU 之间(如通过 CAN、LIN、FlexRay、MOST 等网络)、还是在 ECU 内

部,RTE 均通过提供一致的接口和服务来实现 SW-Cs 之间的通信抽象。由于 RTE 之上的 SW-Cs 的通信需求依赖于具体应用,RTE 具有可裁剪性,其最终实现会因 ECU 的不同而有所差异。

BSW 位于 RTE 之下,向 SW-Cs 提供服务以协助其完成软件的功能部分。BSW 由标准组件(如 OS、系统服务、通信栈、微控制器抽象层等)和 ECU 特定组件(ECU 抽象及复杂设备驱动)组成。BSW 栈的设计采用了逐层抽象的策略,从上到下可分为服务、ECU 抽象和微控制器抽象三个层次(复杂设备驱动除外)。如图 2 所示的内存服务栈,由内存服务层(非易失内存管理器)、内存硬件抽象层(内存硬件接口、EEPROM 抽象和外部 EEPROM 驱动)和硬件驱动层构成,每一层均向其上层软件组件屏蔽了其下层的实现细节,以提高 BSW 组件的可重用性。

1.2 AUTOSAR 方法学

AUTOSAR 还定义了一套由软、硬件组件的形式描述(Formal Description)来构建汽车电子系统架构的方法学,如图 3 所示。该方法学主要涉及各种系统描述信息、系统设计-实施过程、元模型(Meta-model)和支撑工具等方面的内容^[5]。

系统描述信息采用标准化的数据交换格式进行描述,包括 SW-C、ECU 资源、系统约束、系统配置和 ECU 配置五类描述,前三者是 AUTOSAR 方法学的输入,后两者则是支持 AUTOSAR 方法学的中间信息。SW-C 描述与硬件独立,包括一般信息(如名称、制造商等)、通信特性(请求/提供端口、接口)、内部结构(子组件及连接)、以及需求的硬件资源(处理时间、调度策略及内存)等。以 SW-C 描述为输入,VFB 可在软件实现之前对所有应用组件和接口进行“虚拟”验证。ECU 资源描述则独立于具体的应用软件,包括一般信息、温度(自身及环境)、可用信号处理方法及编程能力、可用硬件(如微控制器架构、内存、通信接口、外围传感器/执行机构、引脚数等)、RTE 之下的微控制器软件、以及从引脚至

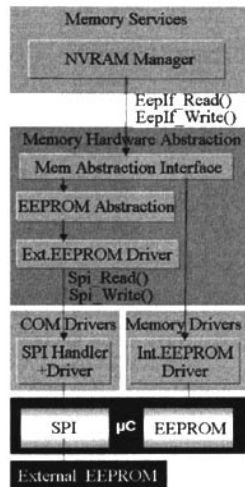


图2 内存服务栈示例

ECU 抽象层的路径等。系统约束描述包括网络拓扑(总线系统、连接的 ECU 和网关、电源及系统激活)、每一通道的通信描述(通信矩阵和网关表)、SW-Cs 映射/群集等。系统配置描述是在综合考虑各 SW-Cs 及其通信连接、ECU 资源、系统约束和其它产品线相关因素(如成本等)的前提下,对系统级

组件(向各 ECU)映射及包括所有网络帧的时间特性和内容的完整的通信矩阵的描述。ECU 配置描述则包含了可由该描述(RTE 配置、OS 配置、BSW 配置、SW-Cs 实现列表等)和映射至该 ECU 上的 SW-Cs 代码生成可在该 ECU 上运行的软件的所有信息。

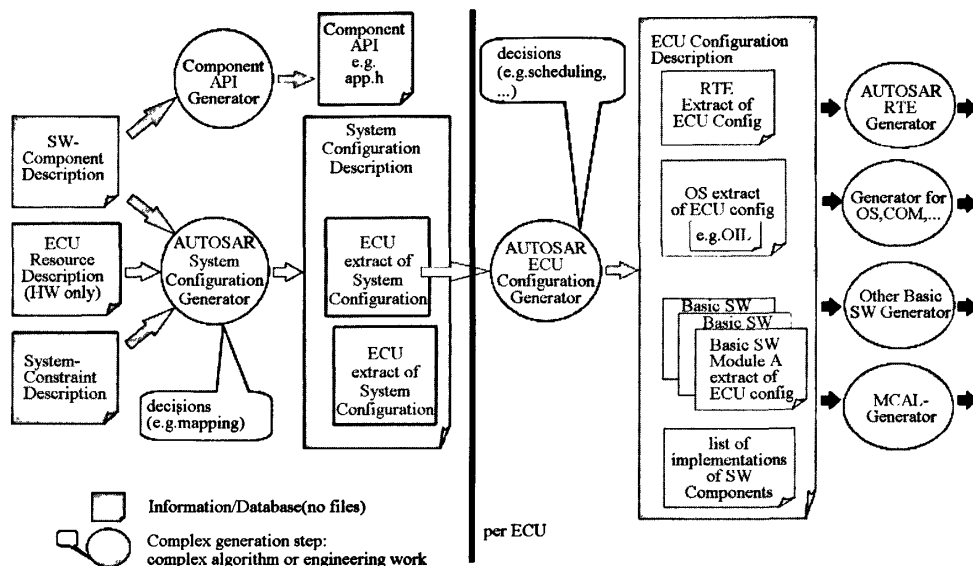


图3 AUTOSAR 方法学

AUTOSAR 系统设计-实施过程如图4所示,分为四个步骤。第一步由应用需求及车辆信息并行创建 SW-C、ECU 资源及系统约束描述;第二步在三类描述的基础上配置系统并生成 ECU 描述摘录;第三步为每个 ECU 的基础软件(如 RTE、OS、通信栈等)生成需要的配置;第四步由 ECU 基础软件配置、SW-Cs 和 AUTOSAR 库(图中未画出)为每个 ECU 生成可执行软件。

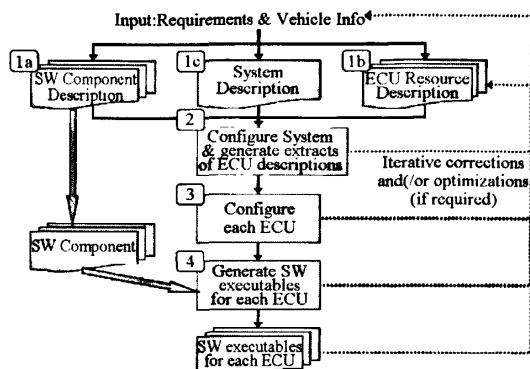


图4 AUTOSAR 系统设计-实施过程

AUTOSAR 元模型是 AUTOSAR 架构定义的中枢,包含了构建 AUTOSAR 系统的完整规范,是 AUTOSAR 方法学生成或使用的所有信息结构的形式描述(换言之,AUTOSAR 方法学集成于该元模型之中)。该元模型由统一建模语言(UML)和对象约束语言(OCLE)创建,在其基础上可构建真实系统模型、并自动生成由可扩展标记语言(XML)描述的各种配置信息以用作各种支撑工具间的数据交换格式。

1.3 AUTOSAR 应用接口

AUTOSAR 应用接口规范定义典型汽车应用接口的语法和语义规约,以作为 SW-Cs 之间及 SW-Cs 与 BSW 之间的应用软件接口标准。当前主要考虑的是车身、底盘及动力传动系统控制领域的应用软件接口的标准化工作,并将逐步覆盖整个汽车电子系统领域。

2 I 和 II 阶段进展及 III 阶段展望

基于“在标准上合作、在实施上竞争”这一宗旨,AUTOSAR 开发合作关系从 2003 年 7 月建立以来,已吸引了全球 100 多家汽车制造商、部件供应商和工具提供商的参与。作为一个发展中的工业开放

标准,AUTOSAR 经历了最初的概念提出(2003 年下半年至 2004 年上半年)、已完成的 I 阶段(2004 年 7 月至 2006 年 12 月)和 II 阶段(2007 年至 2009 年)、以及刚启动的 III 阶段(2010 年至 2012 年)。

2.1 I 阶段进展

该阶段的主要目标是获得一套完整的、有关架构、方法学及模板的规范。共发布了 AUTOSAR 规范 1.0、2.0 和 2.1,并完成两个验证原型的开发^[6-8]。其中,规范 1.0 包含 I/O 通信、CAN 协议栈、FlexRay 协议栈、诊断路由(不包括 OBD)、内存栈及操作系统的规范;规范 2.0 在 1.0 的基础上增加了 RTE、LIN 协议栈、网关功能、看门狗和 ECU 状态管理服务的内容;规范 2.1 则在 2.0 基础上增加了 BSW 配置、符合性测试过程、变更及发布管理过程的内容。

为了验证并完善相应版本的规范,AUTOSAR 开发了两个验证原型。验证原型 1 对规范 1.0 的实现和集成进行了验证。由 14 个成员公司(实现者)开发了 31 个 BSW 模块的 56 个不同实现、并由 1 个集成者分别在 16 位(MC9S12XDP512)和 32 位(Tri-Core TC1766)硬件平台上进行了集成。在实现阶段提出了 260 多个规范变更请求,在集成阶段只提出了很少的概念变更请求。验证原型 2 则对规范 2.0 的实现和集成进行了验证,并在此基础上更新规范 2.0 并发布了规范 2.1。在该阶段结束时,AUTOSAR 规范在方法学、模板、BSW 和 RTE 方面已达到了用于汽车电子产品开发所要求的成熟度。

2.2 II 阶段进展

该阶段有二个主要任务:一是应用和维护阶段 I 的成果;二是进一步开发和完善标准。前者除在成员中推广应用之外,还涉及标准改进的发布及变更管理过程和符合性测试过程。后者在阶段 I 验证经验和应用反馈信息的基础上,开展功能安全特性、多核处理器支持、车辆及应用模式管理、调试及错误处理、变型处理、时间特性模型、及应用接口等规范的标准化工作;其中的应用接口规范,除涉及车身、动力传动系统和底盘控制以外,还包括人机接口(HMI)、乘员及行人(P&P)安全系统、多媒体/远程信息处理等方面。

在标准化方面,AUTOSAR 已发布了具有更高成熟度的规范 3.0、3.1 和 4.0。规范 3.0 在架构方面,增加了 ECU 及总线状态管理方面的内容;在方法学方面,电子系统架构已可由相关模板描述,通过引入新的 BSW 模块描述模板改进了实现/配置方法

学,增加了支持 FIBEX(现场总线交换格式)集成的系统模板;在应用接口方面,涉及车身、动力传动系统、底盘、HMI 和多媒体领域的 800 多个端口和 300 多个接口已实现标准化。规范 3.1 还增加了对 OBD II 的支持。2009 年 12 月发布的规范 4.0,在架构和方法学方面引入了一些新的概念。在架构方面,在 BSW 和 RTE 中引入了内存分配、防御行为、双机冗余、流程监控、端到端的通信保护库等机制以支持功能安全^[9],引入了多核架构以支持一个高内聚的应用可移植到多核处理器上,改进了通信栈以支持 LIN 2.1、FlexRay 3.0 及长度大于 8 字节的信号;在方法学和模板方面,引入了变型处理概念以支持带条件或可选接口的 SW-C 的不同调用和向不同平台或拓扑的分配或实施,以及使系统描述/生成适应不同的通信矩阵,并改善了对时间需求的描述。另外,规范在模块层次上定义了 BSW 的符合性测试标准。

在应用方面,BMW 集团 2008 年在其全新的 7 系列“标准核”中包含了约 10 个 BSW 模块;Bosch 公司 2008 年在其车身控制和组合仪表系统中应用了部分 AUTOSAR 规范;Hyundai 与 KPIT Cummins 和 NECEL 公司合作,在其实验车巡航控制 ECU 中对 BSW 模块性能进行了分析;Magneti Marelli 公司基于 Fiat EU5 汽油机平台应用 AUTOSAR 技术开发了样车。此外,BSW 栈的商业实现已面市,且支撑工具的开发亦取得了很好的进展。如 Vector 公司在开发了符合规范 3.0 的 MICROSAR(包括 RTE 和除复杂设备驱动以外的 BSW 栈)及支持从系统设计到 ECU 软件开发的相关工具(如 Davinci 和 MICROSAR Configurator);Delphi / Mecel 公司开发了基于 PC 的 VFB 仿真器;ETAS 公司在 ASCET 和 RTA 软件中提供了对 AUTOSAR 的支持。

2.3 III 阶段展望

该阶段的主要工作是对现有标准的维护和有选择的功能增加(以支持新的技术并扩展现有的功能)。在基础软件架构和模块方面,将增加如附加硬件支持、与汽车多媒体应用的互操作性等新功能;扩展现有的通信机制,如增加与基于 Internet 协议的网络的互操作性、与 MOST 的接口等;增加 ECU 和 BSW 模块级的有效能量管理方法;完全支持多核;功能安全改进;对现有功能进行如适应卡车领域诊断需求的改进和扩展。在方法论和模板方面,将增加如支持迭代开发等新功能;在支持可变换性、分布式开发、配置管理和 ODX(开放的诊断数据交换)

等方面对现有功能进行改进和完善;简化著作工具互操作性;支持为基础软件定义的新功能。在应用接口方面,将对规范进行改进和扩展以支持带优先权应用和常用应用接口。

在应用方面,AUTOSAR 的 9 个核心成员已就全面开展 AUTOSAR 应用开发达成共识,所有核心成员均计划在其产品中引入 AUTOSAR 技术,如 BMW 集团在率先应用 AUTOSAR 技术的基础上,计划到 2011 年在动力传动系、底盘、安全及车身 ECU 上全面采用 AUTOSAR 架构;Bosch 公司计划 2010 年从自适应巡航控制和动力传动系 ECU 推广至底盘和车身 ECU;Continental 集团计划 2010 年从车身及动力传动系扩展到底盘控制系统;DAIMLER 公司计划从 2010 年开始使用 AUTOSAR 模块,2011 使用 AUTOSAR 兼容的 ECU、2012 全面引入 AUTOSAR 架构和方法学;TOYOTA 公司则计划在 2012 年使用基于 AUTOSAR 架构的 ECU。

3 实施建议

就我国而言,一方面,在汽车电子系统开发上,过去往往更重视系统功能的实现,而在系统架构的研究与应用方面,与国外相比还存在较大差距;另一方面,AUTOSAR 超越了现阶段广泛采用的 ECU 驱动的开发模式,全面实施也面临着投资成本难以快速收回的风险。因此,我国实施 AUTOSAR 标准宜采取由整车厂主导的多方分工协作的分阶段逐步展开的实施策略。

AUTOSAR 规范的产生是全球合作的结果,我国在实施 AUTOSAR 时,亦可采用多方分工协作的方式,由整车及汽车电子装备供应商负责系统功能的开发,BSW 栈可根据其功能划分由不同的专业公司或研究机构完成,支撑工具则可由有条件的软件企业来完成。各协作方可在明确分工的基础上做好技术储备,以确保将来 AUTOSAR 成为全球汽车电子系统架构事实工业标准时,我国能在汽车电子领域自主技术创新的竞争中立于不败之地。

为实现内部遗留软件的重用、与汽车开发周期同步(不影响现有产品开发进度)和降低风险,可分阶段实现从私有软件架构向完全符合 AUTOSAR 标准的软件架构过渡。一个可选的方案是先按 ICC1(实施符合类 1)的要求实施,即将整个 BSW 栈和 RTE 封装成一个组件,仅在应用接口和总线通信接口上实现标准兼容,以确保所有功能/应用组件具有可重用性和可转移性;待条件成熟后再逐步按 ICC2

和 ICC3 的要求实现标准化的基础软件栈。

4 结语

AUTOSAR 概念的提出,为汽车电子系统开发模式从 ECU 驱动向功能驱动和架构集成的转变奠定了技术和方法学基础。随着其规范的进一步完善和推广应用,将使汽车电子系统的复杂度管理、组件重用、以及产品生命期软件修改、升级和更新变得相对容易,且汽车电子系统的可扩展性、软件质量及可靠性亦将得到较大程度的提高。

AUTOSAR 已在全球范围内受到了业界的广泛关注,我国上海汽车、一汽集团、北京经纬恒润等也加入了该组织。随着加入该组织的成员进一步增多、AUTOSAR 应用接口标准化工作的深入、应用/功能软件的商品化、以及支撑 AUTOSAR 方法学的工具软件的涌现,汽车电子系统的软件开发将会越来越多地采用 AUTOSAR 技术。

参 考 文 献

- [1] Scharnhorst T, Heinecke H, Schnelle K P, et al. AUTOSAR—Challenges and Achievements 2005[J]. VDI Berichte Nr. 1907, 2005: 395-408.
- [2] Heinecke H. Automotive Open System Architecture—An Industry-Wide Initiative to Manage the Complexity of Emerging Automotive E/E Architectures[J]. SAE Paper, 2004-21-0042.
- [3] AUTOSAR. Welcome to the AUTOSAR Development Partnership[EB/OL]. (2005-12-06) [2009-12-28] <http://www.autosar.org/>.
- [4] Fürst S. AUTOSAR—an Open Standardized Software Architecture for the Automotive Industry[C]//1st AUTOSAR Open Conference & 8th AUTOSAR Premium Member Conference. Detroit, MI, USA: [s. n.], October 23, 2008.
- [5] Mössinger J. AUTOSAR—The Standard for Global Cooperation in Automotive Software Development[C]//ATI 2008. Tokyo, Japan: [s. n.], July 23, 2008.
- [6] Bunzel S. AUTOSAR Validation Experiences[C]//International Automotive Electronics Congress. Paris, France: [s. n.], October 25, 2006.
- [7] Heinecke H, Bielefeld J, Schnelle K P, et al. AUTOSAR—Current Results and Preparations for Exploitation[C]//7th EUROFORUM Conference “Software in the Vehicle”. Stuttgart, Germany: [s. n.], May 3-4, 2006.
- [8] Fennel H, Bunzel S, Heinecke H, et al. Achievements and Exploitation of the AUTOSAR Development Partnership[J]. SAE Paper 2006-21-0019.
- [9] Fürst S, Mössinger J, Bunzel S, et al. AUTOSAR—A World-wide Standard is on the Road[C]//14th International VDI Congress “Electronic Systems for Vehicles”. Baden-Baden, Germany: [s. n.], October 7-8, 2009.

(编校:刘 瑜)

作者: 阴晓峰, 刘武东, YIN Xiao-feng, LIU Wu-dong
作者单位: 阴晓峰, YIN Xiao-feng (西华大学汽车工程研究所, 四川, 成都, 610039), 刘武东, LIU Wu-dong (雅安市机动车检测站, 四川, 雅安, 625000)
刊名: 西华大学学报 (自然科学版) **ISTIC**
英文刊名: JOURNAL OF XIHUA UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE EDITION)
年, 卷(期): 2010, 29 (2)
被引用次数: 2次

参考文献(9条)

1. Scharnhorst T, Heinecke H, Schnelle K P AUTOSAR-Challenges and Achievements 2005 1907
2. Heinecke H Automotive Open System Architecture-An Industry-Wide Initiative to Manage the Complexity of Emerging Automotive E/E Architectures[SAE Paper, 2004-21-0042]
3. AUTOSAR Welcome to the AUTOSAR Development Partnersnip 2009
4. Fürst S AUTOSAR-an Open Standardized Software Architecture for the Automotive Industry 2008
5. M(o)essinger J AUTOSAR-The Standard for Global Cooperation in Automotive Software Development 2008
6. Bunzel S AUTOSAR Validation Experiences 2006
7. Heinecke H, Bielefeld J, Schnelle K P AUTOSAR-Current Results and Preparations for Exploitation 2006
8. Fennel H, Bunzel S, Heinecke H Achievements and Exploitation of the AUTOSAR Development Partnership[SAE Paper 2006-21-0019]
9. Fürst S, M(o)ssinger J, Bunzel S AUTOSAR-A Worldwide Standard is on the Road 2009

本文读者也读过(10条)

1. 高焕吉. GAO Huan-ji 基于AUTOSAR的汽车电子控制系统嵌入式软件开发[期刊论文]-汽车电器2010(5)
2. 徐鑫朋. 王翔. 陆建华. 徐军. 张晓先. XU Xin-peng. WANG Xiang. LU Jian-hua. XU Jun. ZHANG Xiao-xian 基于AUTOSAR方法论的应用组件配置[期刊论文]-计算机工程2010, 36(18)
3. 项晨. 张彦华. 涂时亮. XIANG Chen. ZHANG Yan-Hua. TU Shi-Liang 基于AUTOSAR规范的Flash驱动程序的研究与实现[期刊论文]-计算机系统应用2010, 19(9)
4. 王安军. 蒋建春. 陈培然. WANG An-jun. JIANG Jian-chun. CHEN Pei-ran 符合AUTOSAR规范的底层驱动软件开发[期刊论文]-计算机工程2011, 37(9)
5. 张莉苹 基于AUTOSAR标准的模型驱动设计及其信息生成的研究——SmartArchitect[学位论文]2010
6. 郭晔文 参照AUTOSAR标准的汽车电子通信与应用[学位论文]2008
7. 张吕红 参照AUTOSAR标准的SmartOSEK OS 4.0的设计与实现[学位论文]2010
8. 恒润科技 AUTOSAR CAN诊断实现研究[期刊论文]-电子元器件资讯2010(10)
9. 龙荣深 基于AUTOSAR标准的系统配置工具[学位论文]2010
10. 余庆. 张晓先. 戴柔逸. SHE Qing. ZHANG Xiao-xian. DAI Rou-yi AUTOSAR通信模块的设计与实现[期刊论文]-计算机工程2011, 37(9)

引证文献(2条)

1. 冯江波. 刘亚军 与AUTOSAR兼容的Matlab/Simulink自动代码生成技术[期刊论文]-佳木斯大学学报: 自然科学版2011(6)
2. 姚江云. 孔峰. 吴方圆 FlexRay车载网络管理数据调度的研究[期刊论文]-自动化仪表 2011(12)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_scgyxyxb201002026.aspx