



汽车先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

汽车嵌入式系统 手册



[法] 尼古拉斯·纳威特 (Nicolas Navet) 著
弗朗西斯·西蒙-莱昂 (Françoise Simonot-Lion) 著
李惠彬 唐敏 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车先进技术译丛

汽车嵌入式系统手册

[法] Nicolas Navet (尼古拉斯·纳威特) 著
Françoise Simonot - Lion (弗朗西斯·西蒙-莱昂)
李惠彬 唐敏 张晨霞 金德全 王丽荣 马超 译



机械工业出版社

Automotive Embedded Systems Handbook by Nicolas Navet and Françoise Simonot - lion, 9780849380266.

Copyright © 2009 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC.

All rights reserved.

本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分.

"This title is published in China by China Machine Press with license from Taylor & Francis. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由泰勒弗朗西斯授权机械工业出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行. 未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁."

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售.

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2010-3820 号

图书在版编目(CIP)数据

汽车嵌入式系统手册/(法)尼古拉斯·纳威特,(法)弗朗西斯·西蒙-莱昂著;李惠彬等译. —北京:机械工业出版社,2015.12

(汽车先进技术译丛)

书名原文: Automotive Embedded Systems Handbook

ISBN 978-7-111-52251-5

I. ①汽… II. ①尼…②弗…③李… III. ①汽车-计算机控制系统-技术手册
IV. ①U463.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 289732 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:孙 鹏 责任编辑:孙 鹏

责任校对:张晓蓉 封面设计:鞠 杨

责任印制:李 洋

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·26.5 印张·2 插页·506 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-52251-5

定价:168.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

本书全面介绍了现有和未来的汽车电子系统，并突出显示了汽车嵌入式系统在需求、技术和商业模式方面的鲜明特征。

本书由汽车电子领域著名的专家学者撰写，是当今国际上汽车嵌入式系统领域的最新学术著作，覆盖了汽车嵌入式系统领域的四大关键内容：①汽车嵌入式系统架构，包括汽车功能域及其要求、AUTOSAR（汽车开放式系统架构）标准的应用与智能车辆技术；②嵌入式系统通信，包括嵌入式汽车协议综述、FlexRay 协议与可靠的汽车 CAN 网络；③嵌入式系统软件及其研发过程，包括汽车电子产品生产线、汽车电子中软件的复用、汽车嵌入式系统架构描述语言（ADL）和基于模型的汽车嵌入式系统的开发；④验证测试与时序分析，包括汽车控制软件测试、基于 FlexRay 应用模块的测试和监控、基于 CAN 网络的汽车通信系统的时序分析、主要性能提升方式 - 使用偏移方式调度 CAN 信息以及汽车域的形式化方法 - TTA（定时触发架构）概况等。

本书在车载架构、多方面开发过程（子系统集成、产品线管理等）、软件工程方法、嵌入式通信、安全性和可靠性评价以及确认、验证和测试等领域给读者呈现了先进的方法论和技术解决方案。本书适合于从事车辆与交通工程、机械电子工程、控制工程设计与研发人员参考阅读，也可作为大专院校车辆与交通工程、机械电子工程、控制工程专业硕士研究生和博士研究生课程教材或参考书。

原著前言

《汽车嵌入式系统手册》一书旨在为读者提供一个全面的、对现有和未来汽车电子系统的概述。本书突出显示了汽车世界在需求、技术和商业模式方面的鲜明特征，并在以下领域呈现了先进的方法论和技术解决方案：

- 车载架构；
- 多方面开发流程（子系统集成、产品线管理等）；
- 软件工程方法；
- 嵌入式通信；
- 安全性和可靠性评价：确认、验证和测试。

本书主要针对汽车工程专业人士，可以作为超出他们专业知识领域技术问题的参考书，及处于实践或研究阶段工程师的参考书。另一方面，本书也针对来自学术界的研究型科学家、博士和硕士研究生，因为本书不仅全面介绍了该领域的相关知识，还指出了该领域面临的主要科学挑战。

在过去的10年里，嵌入到汽车中、基于计算机的功能数量呈指数增加。开发流程、技术和工具已经改变，以适应变革。一系列的电子功能，如导航、自适应控制、交通信息、牵引控制、稳定控制和主动安全系统已经在今天的车辆上实现。这些新功能并不是独立的，言下之意它们需要信息交换——有时有严格的时间限制、有时要用到其他功能。例如，通过发动机控制器或者车轮转速传感器估计的车辆速度信息，可以用于调整方向、控制悬架，或仅为简单地选择正确的刮水器速度。嵌入式体系结构的复杂性正在不断增加。今天，多达2500个信号（如车速这样的基本信息）通过70多个电子控制单元（ECU）或通过5种不同类型的网络来交换。

汽车工业的主要挑战之一就是想出方法和工具，加快将来自各种供应商的不同电子子系统集成到汽车的全球电子架构。在过去10年里，几个行业项目已经在这个方向上进行（AEE、EAST、AUTOSAR OSEK/VDX等）^①，且已经取得重

① Architecture Electronique Embarquee (AEE, 1997—2000) 是一个法国项目，得到了法国工业部的支持，且有标致和雷诺、萨基姆、西门子、法雷奥作为主要工业合作伙伴。它的主要目标是找到应用级软件的可移植性的解决方案。嵌入式电子架构 (EAST - EEA, 2001—2004, 参见 <http://www.east-eea.net/>) 是一个欧洲 ITEA 项目，它涉及最主要的欧洲汽车制造商、汽车第三方供应商、汽车工具、中间供应商和研究机构。汽车开放式体系架构 (AUTOSAR, 2004—2007, 参见 <http://www.autosar.org>) 是一项正在进行的针对 EAST - EEA 的持续行动，它旨在建立开放的汽车嵌入式架构标准。开放系统和相应的汽车电子接口 (OSEK, 参见 <http://www.osek-idx.org>) 是德国的一个汽车工业项目，它定义用于通信、网络管理和操作系统的软件组件标准。OSEK 的一些成果（如 OSEK/OS）已经广泛应用于汽车产品上。

要成果（例如，标准组件如操作系统、网络和中间件、“好做法”等）。下一步是构建一个接受开放的软件体系架构以及相关的开发流程和工具，它们应该允许容易整合不同的汽车制造商和第三方供应商提供的功能和 ECU。这是 AUTOSAR 项目正在进行的工作。

因为嵌入在汽车上的所有子系统没有相同的功能或可靠性，所以不同子系统有不同的服务质量。在通常情况下，一个车载嵌入式系统分为几个功能域，它们对应于不同的特性和约束。其中有两个特别与车辆行为的实时控制和安全有关：“动力总成”（控制发动机和变速器）和“底盘”（控制悬架、转向和制动）域。对于这些对安全性至关重要的域，技术解决方案必须确保该系统是可靠的（即能够提供值得信任的服务），且同时具有成本效益。

这些技术问题非常具有挑战性，特别是线控功能——它利用电子系统取代机械或液压系统，比如制动系统或转向系统。设计范式（时间触发、“构建的安全”）、通信网络（FlexRay、TTP/C）和中间件层（AUTOSAR COM）目前正在积极发展，目的是为了了解决对可靠性的需求。

汽车工业中的主要成员可以分为：

- 汽车制造商；
- 汽车第三方供应商；
- 工具和嵌入式软件供应商。

他们之间的关系是非常复杂的。例如，提供关键技术的供应商有时处在一个非常强势的位置，他们可能把技术方案强加给汽车制造商。由于汽车制造商和供应商之间的竞争非常激烈，所以保守公司的技术机密是至关重要的。这已经在技术领域产生了巨大的影响。例如，可能需要进行的系统的验证（即验证系统满足其约束）所使用的技术，不需要公开设计基本原理和实施细节的全部信息。

缩短上市时间将给汽车制造商添加附加压力，这是因为汽车制造商必须能够提出自己的创新——这通常依赖于电子系统在一个时间框架内。涉及的成员努力缩短开发时间，而与此同时，系统的整体复杂性增加——这要求更多的时间。这就解释了为什么尽管存在经济竞争，但他们仍然同意一起工作，来定义标准组件和参考架构——这将有助于缩短总的研发时间。

本书包括了 15 章内容，主要来自工业与学术界直接参与工程和研究活动的权威专家撰写。在汽车领域处于前沿的工业或工业研究机构也为本书做出了许多贡献，他们是：西门子（德国）、ETAS（德国）、沃尔沃（瑞典）、Elektrobit（芬兰）、Carmeq（德国）、MathWorks 有限公司（美国）、奥迪（德国）。还有一些世界著名机构展示了它们对学术界和研究机构的贡献，这些机构有：柏林理工大学（德国）、LORIA - 南锡大学（法国）、INRIA（法国）、南特中央理工大学（法国）、KTH（瑞典）、梅拉达伦大学（瑞典）、凯特林大学（美国）、阿威罗

大学（葡萄牙）和乌尔姆大学（德国）。

本书编排内容介绍如下：

（1）汽车架构

这部分内容对汽车嵌入式系统及其设计约束，以及新兴的、事实上的标准——AUTOSAR 进行了全面介绍。第1章“车辆功能域和它们的需求”介绍了嵌入在汽车上的主要功能，及如何将这些功能分为功能域（底盘、动力总成、车身、多媒体、安全和人机接口）。并介绍了开发过程的特点，以及需要考虑的安全、舒适、性能和成本上的要求。

在第2章“AUTOSAR 标准的应用”中，作者解决了车载嵌入式电子架构的标准化问题。他们分析了汽车行业的软件现状，提出了在 AUTOSAR 联盟中标准化规范的详细说明。对 AUTOSAR 必须特别注意，因为它正在成为一个标准，每个人都必须理解和应对它。

接着在第3章“智能车辆技术”中，提出的关键技术也已经被开发出来，它们用以满足今天的、明天的汽车的挑战——更安全、更好地利用能源、更好地利用空间（尤其是在城市中）。这些技术，如先进的传感器（雷达、立体视觉等）、无线网络或智能辅助驾驶等，将提升部分或全部自动车辆的概念，它们将重塑交通景观和上班一族在21世纪的旅行经验。

（2）嵌入式通信

越来越复杂的电子架构嵌入车辆以及传感器和执行器位置约束，使得汽车行业采用分布式方法实现功能集成。在这种背景下，网络和协议是最重要的。它们在集成功能、减少布线的成本和复杂性、装备容错工具方面，提供关键的支持。其性能和可靠性的影响是至关重要的，因为大量的数据是通过网络提供给嵌入式功能。这部分包括第4、第5和第6章内容——专门研究网络和协议。

第4章“嵌入式汽车协议综述”概述了用于汽车系统的主要协议；如 CAN、J1850、FlexRay、TTCAN 的特点和功能方案，并介绍了传感器/执行器网络（LIN、TTP/A）和多媒体网络（MOST、IDB1394）的基本概念，总结了对通常由中间件层提供的通信相关的服务识别以及 AUTOSAR 对策建议的概述。

CAN 是目前在车辆上实施最广泛的网络。然而，尽管 CAN 拥有较高的效率和较好性能，但它并不拥有关键安全性应用程序所需的特征。第6章“可靠的汽车 CAN 网络”的目的是指出它的局限性（它减少了可靠性），并提出技术解决方案来克服或减少这些局限性。特别的是，作者介绍了基于 CAN 的技术、协议和架构，它们可以在某些方面提高原始协议的可靠性，而同时仍然维持高水平的灵活性，即（Re）CANcentrate、CANELy、FTT-CAN 和 FlexCAN。

随着技术的发展，越来越多的功能对数据带宽方面有强烈需求。此外，对安全的要求变得越来越严格。在2000年，为了解决这两个限制，汽车工业开始开

发一种新的协议——FlexRay。第5章“FlexRay协议”解释了FlexRay的基本原理，并对它的特点和功能方案给出了一个全面的概述。最后，以评估FlexRay对开发过程的影响对该章进行了总结。

(3) 嵌入式软件与研发流程

嵌入式电子系统的设计流程依赖于在一个特定的并行工程的方法下汽车制造商与供应商之间的紧密合作。通常情况下，汽车制造商提供子系统的规范给供应商；供应商负责这些子系统的设计与实现——包括软件组件和硬件组件，以及机械或液压部分，然后将结果（产品）提供给制造商；制造商依次将它们集成到汽车上，并对它们进行测试。然后是“校准”阶段，包括调谐控制和参数调节，以满足控制系统所需的性能。在集成阶段检测到任何错误，都会导致在规范或设计步骤代价高昂的修正。因此，为了提高开发过程的效率，新的设计方法正在崛起，特别的是虚拟平台的概念目前在汽车电子系统设计中获得认可。

虚拟平台的概念需要适合开发过程每一步设计和验证活动的建模技术。在这种背景下，基于模型的开发（MBD）已经被汽车制造商和供应商进行了广泛的研究。汽车工业如何适应这种方法将在第10章“基于模型的汽车嵌入式系统开发”中讨论。这一章确定了基于模型开发的优点，探索了实践状态，并探究汽车工业的主要挑战。

汽车系统的一个主要问题是缩短上市时间，复用组件或子系统是实现这一目标的途径之一。第8章“汽车电子中软件的复用”中，概述了在汽车行业复用软件时所面临的挑战，介绍了制造商和供应商在复用问题上的不同观点，并介绍了多合作伙伴开发方法的影响。

在参与研发的不同合作伙伴之间共享相同的建模语言是简化合作开发过程的一种有效手段。（建立）这样一种语言的主要目的是：一方面根据不同的观点支持描述研发不同阶段（需求规范、功能规范、设计、实施和调谐等）的系统；另一方面，以确保这些不同观点之间的一致性。另一个重要方面是能够把嵌入式系统的结构映射成组件（硬件组件、功能组件、软件组件）架构。由架构描述语言（ADL）带来的思想和原则完全适合这些目标。什么是ADL？为什么需要ADL？现有的ADL及其相关的主要内容是什么？现在汽车行业中正在进行的主要工程是什么？这些问题的答案都可以在第9章“汽车架构描述语言”中找到。

产品线的引进和管理在汽车行业中具有重要意义。这些产品线与机械系统的变化、某些客户视觉变化联系起来，并在新车上提供。第7章“汽车电子产品生产线”呈现了整个开发过程中系统规划和持续管理的差异性。本章为研发的不同阶段提供了如何建立可变性模型的一些技术以及可追溯性准则。

(4) 验证、测试和时间分析

汽车上的一些功能从安全的角度来说至为重要的，例如底盘或动力总成域的某些功能。因此，确认和验证是最重要的。

测试可能是汽车行业最常用的验证技术。第 11 章“汽车控制软件测试”介绍了一般测试方法。特别的是该章描述了与当前测试活动有关的几种方法,如分类树方法、测试场景选择法和黑盒/白盒测试法。正如早已提及的,通信网络和协议是一个嵌入式系统可靠性和性能的关键因素。因此,通信架构的特定属性必须验证。第 12 章“基于 FlexRay 应用模块的测试和监控”讨论了如何将测试技术应用到 FlexRay 协议中。作者总结了在汽车应用程序的开发过程中验证步骤的约束,并解释了为什么故障注入和监测技术可以用于测试 FlexRay。

CAN 是嵌入在汽车上最受欢迎的网络,因此其相关内容是(大家)长时间的研究主题。第 13 章“基于 CAN 网络的汽车通信系统的时序分析”总结了过去 15 年在 CAN 时序分析领域取得的主要成就。特别的是它解释了如何计算帧在到达接收端之前所经历的时间延迟界限(即帧的响应时间)。本章还将考虑出现的传输错误,如电磁干扰。由于 CAN 的介质访问控制协议是基于帧的优先级,因此 CAN 拥有良好的实时特性。然而,正变得越来越有问题的一个缺点是其有限的带宽。汽车制造商正在研究的一个解决方案,就是使用偏移来调度信息——它将导致信息帧的去同步化。正如第 14 章“主要性能提升方式:使用偏移方式调度 CAN 信息”所述,这种“交通塑造”在最差工况响应时间方面的策略是非常有益的。试验结果表明:合理的偏移可以进一步延长 CAN 的寿命,并可以推迟引入 FlexRay 和额外的 CAN。

第 15 章“汽车域的形式化方法:TTA 时间触发架构概况”介绍了在时间触发架构(TTA)方面进行的形式化验证研究,以及更具体的涉及时间触发协议(TTP/C)的工作。该协议是 TTA 底层通信网络的核心。这些形式化验证工作都集中在分布式系统的关键算法:时钟同步、组成员算法或启动算法,并在可靠性保证方面带来了出色表现。据我们所知,TTA 不再被汽车考虑或在汽车上实施。尽管如此,使用 TTA 形式化验证的多年经验对于比如 FlexRay 这样的汽车通信协议,肯定被证明是非常宝贵的——尤其是在认证程序将对汽车系统强制执行的视角来看。现在对航空电子系统是强制执行 TTA 的。

我们衷心感谢所有作者在致力展示本书内容时所付出的时间和精力。我们也非常感谢工业信息技术系列丛书编辑——理查德·拉夫斯基博士一直以来的支持和鼓励。最后,我们要感谢 CRC 出版社同意出版本书,并感谢他们在编辑过程中的帮助。

我们希望本书读者能为自己的研究或应用找到有趣的灵感源泉,并希望本书能成为汽车嵌入式系统一个可靠的、完整的、齐全的信息来源。

尼古拉斯·纳威特
弗朗西斯·西蒙-莱昂

译者序

嵌入式系统由于具有体积小、能耗低、集成度高以及子系统间能通信融合的优点,非常适合用于汽车产品。随着汽车技术的发展以及微处理器技术、嵌入式软件的不断进步,嵌入式系统在汽车电子技术中得到了广泛应用。目前,从汽车车身控制、底盘控制、动力总成控制、主动/被动安全系统,到人机界面、车载娱乐、远程信息处理系统都离不开嵌入式技术的支持。在过去的十几年里,嵌入到汽车中、基于计算机的零部件数量也呈指数增加。今天,多达 2500 个信号(如车速这样的基本信息)通过 70 多个电子控制单元(ECU)和 5 种不同类型的车载网络来交换,以对汽车进行控制。随着汽车产品的进一步普及,用户对汽车质量及可靠性的期望也日益提高。为了应对这种需求,为了满足环境对汽车排放控制日益严格的标准,也为了占有更多的市场份额,许多汽车制造商与供应商以及与汽车产品相关的工业与学术界,正以积极的姿态,悉心研究并开发满足市场要求的汽车嵌入式软硬件系统。

本书是汽车嵌入式系统领域的最新著作。各章内容均由国际上工业与学术界直接参与工程和科学研究活动的、汽车电子及车载网络领域中的杰出科学家和经验丰富的专家撰写而成,他(她)们是: Nicolas Navet [法国国立计算机科学与控制研究所(INRIA)大科技研究中心]——本书总编著者之一,撰写第4章与第14章; Francoise Simonot-Lion (法国南锡大学)——本书总编著者之二,撰写第1章与第4章; Yvon Trinquet (法国南特中央理工大学)参与撰写第1章; Stefan Voget (德国大陆汽车有限责任公司)、Michael Golm [法国国立计算机科学与控制研究所(INRIA)]、Bernard Sanchez (德国奥迪公司)、Friedhelm Stappert (德国大陆汽车有限责任公司)撰写第2章; Michel Parent [法国国立计算机科学与控制研究所(INRIA)]、Patrice Bodu [法国国立计算机科学与控制研究所(INRIA)]撰写第3章; Bernhard Schätz (德国慕尼黑大学信息技术学院)、Christian Kühnel (德国慕尼黑大学信息技术学院)、Michael Gonschorek (德国慕尼黑伊莱比特集团)撰写第5章; Juan Pimentel (美国密歇根凯特琳大学)、Julian Proenza (西班牙巴利阿里大学)、Luis Almeida (葡萄牙阿维罗大学)、Guillermo Rodriguez-Navas (西班牙巴利阿里大学)、Manuel Barranco (西班牙巴利阿里大学)、Joaquim Ferreira (葡萄牙布朗库堡理工学院)撰写第6章; Matthias Weber (德国柏林 Carmeg 有限公司)、Mark-Oliver Reiser (德国柏林理工大学)撰写第7章; Andreas Krueger、Bernd Hardung、Thorsten Koelzow (德国奥迪公司)撰写第8章; Henrik Loenn (瑞典沃尔沃技术公司)、Ulrich Freund (德国斯

图加特 ETAS 公司) 撰写第 9 章; Martin Toerngren、Dejiu Chen、Diana Malvius (瑞典皇家斯德哥尔摩技术学院)、Jakob Axelsson (瑞典沃尔沃汽车公司) 撰写第 10 章; Mirko Conrad (美国马萨诸塞州 MathWorks 有限公司)、Ines Fey (德国柏林安全与建模咨询顾问) 撰写第 11 章; Roman Pallierer、Thomas M. Galla (奥地利维也纳伊莱比特集团) 撰写第 12 章; Thomas Nolte、Hans A. Hansson、Mikael Nolin、Sasikumar Punnekkat (瑞典梅拉达伦大学) 撰写第 13 章; Mathieu Grenier (法国南锡计算机科学研究与应用洛林实验室)、Lionel Havet [法国国立计算机科学与控制研究所 (INRIA)] 撰写第 14 章; Holger Pfeifer (德国乌尔姆大学) 撰写第 15 章。此外, 在汽车领域中处于前沿的厂商或工业研究机构, 如西门子 (德国)、ETAS (德国)、沃尔沃 (瑞典)、Elektrobit (芬兰)、Carmeq (德国)、MathWorks 有限公司 (美国)、奥迪 (德国) 等, 也为本书做出了许多贡献。

本书在汽车电子与车载网络领域为广大的工程师、技术人员、设计者、研发人员、教育工作者和学生, 提供了一本有关技术、工具和标准方面的最新的、权威的、方便和讲解透彻的手册。本书探讨的内容既宽泛又深入, 包括了: 汽车嵌入式系统架构、嵌入式系统通信、嵌入式系统软件及其研发过程以及汽车嵌入式系统的验证测试和时序分析。本书理论联系实际, 并在每一章的结尾都给出了参考文献, 以方便读者进行进一步的信息查阅和研究。

本书第 2 章由唐敏翻译, 第 3 章由金德全翻译, 第 4 章由张晨霞翻译, 第 5 章由王丽荣翻译, 第 6 章由马超翻译, 其余各章由李惠彬翻译, 研究生李杨、张月、董惟肖、刘亚茹、顾梦引、郜慧超、宁梦茜等参与了部分章节的翻译工作。李惠彬对全书文字和插图进行了统一校阅。对于原书中存在的明显小错误, 已在译文中直接修改, 不再一一加注说明。

由于译者水平有限, 难免存在欠妥和误译之处, 恳请国内外专家和广大读者批评指正。

译者

目 录

原著前言
译者序

第一部分 汽车嵌入式系统架构

第 1 章 汽车功能域及其要求	3
1.1 概述	3
1.2 功能域	6
1.2.1 动力总成域	7
1.2.2 底盘域	8
1.2.3 车身域	9
1.2.4 多媒体、远程信息处理与 人机界面	10
1.2.5 主动/被动安全	11
1.2.6 诊断	12
1.3 标准化的部件、模型及流程	12
1.3.1 车载网络和协议	13
1.3.2 操作系统	13
1.3.3 中间件	14
1.3.4 汽车应用中的架构 描述语言	15
1.4 车载嵌入式系统的关键 安全认证问题	17
1.5 结论	18
参考文献	19
第 2 章 AUTOSAR (汽车开放式 系统架构) 标准的应用	23
2.1 动机	23
2.1.1 以前软件结构的缺点	23
2.1.2 设置 AUTOSAR	24
2.1.3 AUTOSAR 的主要目标	24
2.1.4 AUTOSAR 中的工作方法	25
2.2 AUTOSAR 的支柱: AUTOSAR	

架构	26
2.2.1 AUTOSAR 概念	26
2.2.2 分层的软件架构	27
2.3 AUTOSAR 标准化的主要领域:	
BSW 和 RTE	28
2.3.1 BSW	28
2.3.2 BSW 的一致性的类	29
2.3.3 RTE	30
2.4 AUTOSAR 标准化的主要领域:	
方法和模板	32
2.4.1 方法的主要目标	32
2.4.2 方法描述	32
2.4.3 AUTOSAR 模型、模板及 交换格式	33
2.4.4 系统配置	33
2.4.5 ECU 配置	34
2.4.6 实施现有开发流程与 调节工具	34
2.5 实践中的 AUTOSAR:	
一致性测试	35
2.6 实践中的 AUTOSAR: 移植到 AUTOSAR ECU 之上	37
2.7 实践中的 AUTOSAR: OEM - 供应 商协作的应用	39
2.8 实践中的 AUTOSAR: AUTOSAR 与 ECU 兼容性的演示	40
2.8.1 演示仪描述	41
2.8.2 演示仪展示的概念	41
2.9 商业考虑	43
2.10 展望	44
参考文献	44
第 3 章 智能车辆技术	46
3.1 概述: 道路运输及其发展	46
3.1.1 如此美妙的产品	46

3.1.2 安全问题	46
3.1.3 交通拥堵问题	46
3.1.4 能源和排放	47
3.1.5 小结及本章介绍的内容	47
3.2 新技术	48
3.2.1 传感器技术	48
3.2.2 传感器融合	53
3.2.3 无线网络技术	54
3.2.4 智能控制应用	54
3.2.5 最新的驾驶辅助系统	56
3.3 可靠性问题	57
3.3.1 介绍	57
3.3.2 故障 - 安全的汽车 运输系统	57
3.3.3 智能汽车诊断	59
3.4 完全自动的车: 梦想 还是现实?	60
3.4.1 自动化道路车辆	60
3.4.2 自动化道路网络	62
3.4.3 自动化道路管理	63
3.4.4 路径部署	63
3.5 小结	64
参考文献	64

第二部分 嵌入式系统通信

第4章 嵌入式汽车协议综述 69

4.1 汽车通信系统: 特点 和约束条件	69
4.1.1 从点到点通信到多路通信 ..	69
4.1.2 汽车的域及其演变	70
4.1.3 对于不同需求的不同网络 ..	71
4.1.4 事件触发与时间触发	72
4.2 车载嵌入式网络	73
4.2.1 优先总线	73
4.2.2 TT 网络	75
4.2.3 低成本汽车网络	78
4.2.4 多媒体网络	81

4.3 中间件层	82
4.3.1 中间件的原理	82
4.3.2 优于 AUTOSAR 的汽车 中间件	83
4.3.3 AUTOSAR	84
4.4 汽车通信系统的开放性问题	91
4.4.1 优化的网络架构	91
4.4.2 系统工程	92
参考文献	93

第5章 FlexRay 协议 98

5.1 概述	98
5.1.1 事件驱动通信与时间 驱动通信	98
5.1.2 FlexRay 的目标	99
5.1.3 FlexRay 的历史	100
5.2 FlexRay 通信	100
5.2.1 帧格式	100
5.2.2 通信周期	101
5.2.3 静态段	102
5.2.4 动态段	103
5.3 FlexRay 协议	105
5.3.1 协议架构	105
5.3.2 Wakeup (唤醒) 和 Startup (启动) 协议	106
5.3.3 唤醒	107
5.3.4 时钟同步	109
5.3.5 容错机制	112
5.4 FlexRay 应用	113
5.4.1 FlexRay 实施	113
5.4.2 FlexRay 工具支持	114
5.5 总结	115
5.5.1 研发的影响因素	115
5.5.2 FlexRay 验证	116
参考文献	117

第6章 可靠的汽车 CAN 网络 ... 118

6.1 概论	118
6.1.1 汽车网络的主要要求	118

6.1.2	网络技术	121
6.1.3	CAN 的特点和局限性	122
6.2	数据一致性问题	124
6.2.1	CAN 网络中瞬时信道故障的管理	125
6.2.2	影响数据一致性的故障	126
6.2.3	数据不一致的场景概率	127
6.2.4	在 CAN 网络上真正实现数据一致性的解决方案	128
6.3	CANcentrate 和 ReCANcentrate: CAN 网络的星形拓扑结构	130
6.3.1	基本原理	132
6.3.2	CANcentrate 和 ReCANcentrate 基础	133
6.3.3	其他考虑	136
6.4	CANELy	137
6.4.1	时钟同步	138
6.4.2	数据一致性	138
6.4.3	错误控制	138
6.4.4	容错支撑	138
6.4.5	CANELy 的局限性	139
6.5	FTT - CAN: 在 CAN 总线上弹性时间触发通信	139
6.5.1	FTT 系统架构	141
6.5.2	双相基本周期	141
6.5.3	SRDB	142
6.5.4	EC 内的主要时间参数	143
6.5.5	容错特征	144
6.5.6	访问通信服务	145
6.6	FlexCAN: 一种确定的、弹性的和可靠的车载网络架构	146
6.6.1	控制系统事务	146
6.6.2	FlexCAN 架构	147
6.6.3	FlexCAN 如何解决 CAN 的局限性	150
6.6.4	FlexCAN 应用及小结	152
6.7	解决 CAN 网络可靠性的	

其他方法	152
6.7.1 TTCAN	153
6.7.2 使用 CAN 网络的容错时间 触发通信	154
6.7.3 TCAN	154
6.7.4 ServerCAN	155
6.7.5 CAN 网络上容错 时钟同步	156
6.8 结论	157
参考文献	158

第三部分 嵌入式软件和研发流程

第 7 章	汽车电子产品生产线	167
7.1	简介	167
7.2	汽车产品线特性	168
7.2.1	软件产品线基本概念	168
7.2.2	有关产品线工程的汽车电子的特性与需求	168
7.3	基本术语	171
7.3.1	软件产品线	171
7.3.2	变异性	173
7.3.3	作为可变性建模的一种形式的特征建模	174
7.3.4	讨论: 汽车域的特征建模	183
7.4	汽车产品线可变性的整体协调	183
7.4.1	小到中型的产品线的协作	185
7.4.2	高度复杂的产品线协作	185
7.5	产品级别的变异性	187
7.5.1	基本方法	187
7.5.2	与局部产品变异性有关的困难	187

7.5.3 表示 ECU 要求规范中的 变异性·····	189	9.4 ADL 解决方案·····	220
7.5.4 表现的评估·····	190	9.4.1 汽车 ADL 的一般问题·····	220
7.5.5 对通用基础的映射表示·····	191	9.4.2 需要什么来建模·····	221
参考文献·····	192	9.5 目前的 ADL 方法·····	223
第 8 章 汽车电子中软件的 复用·····	193	9.5.1 Forsoft 汽车·····	223
8.1 软件的复用: 汽车 OEM 所面临 的挑战·····	193	9.5.2 SysML·····	224
8.2 汽车领域中软件复用的 必要条件·····	194	9.5.3 架构与分析描述语言·····	225
8.3 支持汽车上应用软件的复用·····	196	9.5.4 实时式和嵌入式系统的 建模与分析·····	225
8.3.1 流程·····	197	9.5.5 AUTOSAR 建模·····	226
8.3.2 模块化汽车软件 组件研发·····	198	9.5.6 EAST-ADL·····	227
8.3.3 函数库·····	199	9.6 结论·····	229
8.3.4 车载嵌入系统的发展·····	201	参考文献·····	230
8.4 应用实例·····	204	第 10 章 基于模型的汽车嵌入式 系统的开发·····	231
8.5 结论·····	207	10.1 简介和本章概要·····	231
参考文献·····	208	10.1.1 什么是 MBD?·····	232
第 9 章 汽车嵌入式系统架构描述 语言 (ADL)·····	210	10.1.2 本章概要·····	234
9.1 介绍·····	210	10.2 汽车嵌入式系统推动 MBD·····	236
9.2 工程信息的挑战·····	210	10.2.1 MBD 在汽车嵌入式系统 研发中的角色·····	236
9.2.1 减少成本和开发时间·····	210	10.2.2 MBD 方法·····	238
9.2.2 开发机构和信息交换·····	211	10.2.3 MBD 的驱动因素·····	239
9.2.3 产品的复杂性·····	211	10.2.4 MBD 方法的潜在好处·····	241
9.2.4 质量和安全·····	211	10.3 背景、关注和要求·····	243
9.2.5 并行工程·····	211	10.3.1 对 MBD 的语境要求·····	243
9.2.6 复用和产品线架构·····	212	10.3.2 MBD 工作解决的 产品关注点·····	245
9.2.7 分析和综合·····	212	10.4 MBD 技术·····	247
9.2.8 样机·····	212	10.4.1 建模语言: 抽象、关系 和行为·····	248
9.3 实践状态·····	212	10.4.2 分析技术·····	251
9.3.1 基于模型的设计·····	212	10.4.3 合成技术·····	253
9.3.2 工具·····	216	10.4.4 工具·····	253
9.3.3 基于模型设计之外的 问题·····	219	10.5 MBD 类别与工业实践·····	255
		10.5.1 汽车实践简述·····	255
		10.5.2 研究和相关的	

标准化工作	257
10.6 在工业领域采用	
MBD 的准则	260
10.6.1 战略问题	261
10.6.2 采用 MBD: 流程和机构	
方面的考虑	262
10.6.3 期望的 MBD 技术属性	264
10.6.4 对 MBD 常见的反对声音	
及缺陷	266
10.7 结论	267
参考文献	268

第四部分 验证、测试和定时分析

第 11 章 汽车控制软件测试	277
11.1 引言	277
11.1.1 动态测试	277
11.1.2 目前的做法	278
11.1.3 构造测试流程	279
11.1.4 基于模型与基于代码的	
测试	279
11.2 测试活动和测试技术	280
11.2.1 测试活动	280
11.2.2 汽车控制软件中典型的	
测试设计技术	284
11.2.3 汽车控制软件的测试	
执行技术案例	295
11.2.4 汽车控制软件示范式	
测试评估技术	297
11.3 开发过程中的测试	300
11.3.1 基于代码开发过程中的	
测试	300
11.3.2 在基于模型开发过程中的	
测试	302
11.3.3 OEM 和供应商之间的接口	

与互动	305
11.4 测试计划	307
11.4.1 创建测试计划	307
11.4.2 测试等级的选择	308
11.4.3 测试对象的选择	309
11.4.4 集成策略	310
11.4.5 测试环境	311
11.5 总结	311
参考文献	312

第 12 章 基于 FlexRay 应用模块的

测试和监控	315
12.1 基于 FlexRay 应用模块介绍	315
12.1.1 系统架构	315
12.1.2 FlexRay 协议	321
12.2 测试与监控目标	321
12.2.1 测试和监控标准	322
12.2.2 测试和监控操作方案	325
12.3 监控与测试方法	325
12.3.1 基于软件的验证	326
12.3.2 基于硬件的验证	332
12.4 测试方法讨论	335
12.4.1 基于软件的测试方法	335
12.4.2 基于硬件的测试方法	336
12.5 结论	337
参考文献	337

第 13 章 基于 CAN 网络的汽车通

信系统的时序分析	339
13.1 简介	339
13.1.1 历史	339
13.1.2 应用	340
13.1.3 章节编排	340
13.2 CAN	340
13.2.1 拓扑结构	341
13.2.2 帧	342
13.2.3 帧仲裁	342
13.2.4 错误检测	344
13.2.5 位填充	345

13.2.6 帧传输时间	346	14.4 WCRT 上使用偏移的优势	373
13.3 CAN 调度	347	14.4.1 有无偏移的 WCRT 比较	373
13.4 调度模型	348	14.4.2 成效的解释: 网络负载分布 更合理	374
13.5 响应时间分析	349	14.4.3 部分偏移的应用	376
13.5.1 充分响应时间测试	350	14.5 偏移可允许更高的网络负荷 ...	377
13.5.2 精确的响应时间测试	350	14.6 结论	379
13.5.3 案例	351	参考文献	379
13.6 时序分析综合误差影响	353	第 15 章 汽车域的形式化方法: TTA (时间触发架构) 概况 ...	381
13.6.1 简单误差模型	354	15.1 简介	381
13.6.2 修正响应时间分析	354	15.2 感兴趣的话题	381
13.6.3 广义确定性误差模型	355	15.2.1 中心守护者的故障 屏蔽功能	382
13.6.4 概率误差模型	356	15.2.2 组成员和派系失效 (策略)	383
13.7 整体分析	357	15.2.3 时钟同步	384
13.7.1 属性继承	357	15.2.4 启动和整合	385
13.7.2 整体调度问题	358	15.3 建模方面	386
13.7.3 案例	358	15.3.1 建模计算	387
13.8 中间件和帧封装	361	15.3.2 建模时间	390
13.9 总结	362	15.3.3 建模故障	391
参考文献	363	15.4 验证技术	392
第 14 章 主要性能提升方式: 使用 偏移方式调度 CAN 信息	367	15.4.1 定理证明	392
14.1 概述	367	15.4.2 模型检查	398
14.2 偏移分配算法	368	15.5 前景	400
14.2.1 设计假说与记号	368	参考文献	401
14.2.2 记号	368		
14.2.3 WCRT 分析的工具支持 ...	369		
14.2.4 算法描述	369		
14.3 实验设置	372		