

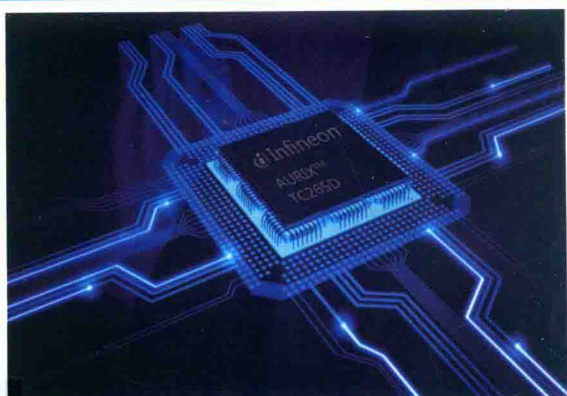
英飞凌多核单片机应用技术

——AURIX™ 三天入门篇

Infinion Multicore Microcontroller Application Technology

—AURIX™ Three Days Elementary Course

谢辉 徐辉 主编



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

英飞凌多核单片机应用技术

AURIX™ 三天入门篇

主编 谢 辉 徐 辉



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

英飞凌多核单片机应用技术: AURIX™三天入门篇 /
谢辉, 徐辉主编. —天津: 天津大学出版社, 2017.9 (2018.1重印)
ISBN 978-7-5618-5952-0

I. ①英… II. ①谢… ②徐… III. ①单片微型计算
机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第231624号

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 13
字 数 270千
版 次 2017年10月第1版
印 次 2018年1月第2次
定 价 68.00元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 烦请向我社发行部门联系调换
版权所有 侵权必究

序 言

晚上睡觉前,小女儿搂着我说:“妈妈,我想学芭蕾舞!”“芭蕾舞很难又很辛苦,要不要学街舞或者民族舞,简单一点儿?”我犹豫地回答。“不怕!要学芭蕾舞!”“为什么只学芭蕾舞?”我问道。女儿一脸严肃地说:“因为芭蕾舞是最棒最漂亮的!”“好,妈妈一定安排你学芭蕾舞!”我笑了,在某种程度上,我早已经习惯了女儿的坚决和坚持,只要最好的!缓缓拍着女儿睡觉,我也陷入沉思:是在何时,我们已经放弃追求完美、创造卓越?是否在我们成长的过程中,经历了挫折、打击之后,就习惯性地不再坚持追求最好的目标了?儿时的坚定和永不放弃,是否还在内心深处,等待开启?

其实,我们这一代人很幸运,经历了中国汽车行业的崛起和振兴,正在见证汽车行业历史性的变革,未来的汽车会超乎我们的常规想象。创新不再是汽车人的梦想,而是必须前进的路径。

提到汽车行业技术的发展与创新,就必须谈半导体芯片。在汽车芯片中,单片机至关重要。单片机运行的软件体现着系统的整体控制策略,其控制效果直接决定系统的优劣。只有基于高性能的产品,才能创建高效率的系统。汽车技术的强大和创新,离不开先进的单片机技术!

英飞凌全新的 AURIX™系列单片机拥有独特的多核架构,包含多达三颗独立 32 位 TriCore™处理内核,具备出色的实时性能以及嵌入式安全与防护功能,使其成为车载系统设计必备的基础和理想的选择。AURIX™优秀的架构可以有效助力系统设计以达到最高汽车安全完整性等级 ASIL-D 标准。AURIX™系列产品中内置的硬件安全模块(HSM),可以让控制器轻松地满足汽车应用防盗窃、欺诈或篡改的信息安全防护要求。

基于 40 nm 半导体工艺的下一代 AURIX™ 2G 和在规划中的 AURIX™ 3G 系列产品将会陆续推出,性能将会更加强大,多达 6 到 8 个内核,可实现更高效安全的信息处理,为自动驾驶铺路搭桥。

对于 AURIX™,奥迪汽车动力总成电子装置开发负责人 Josef Bast 先生这样评价:“AURIX™具备出类拔萃的实时性能和高处理能力,可满足我们新一代引擎平台日益严苛的要求,即以更低的碳排放获得更高的引擎性能。”

谈到开发全新的以 AURIX™为基础的控制平台,着实是个挑战。我还清晰地记得跟天津大学师生们激烈讨论如何能让广大汽车电子技术人员更方便、更轻松地

上手 AURIX™ 的热闹场景。天津大学—英飞凌汽车电子联合实验室主任谢辉教授语重心长的总结发言令人至今记忆犹新：“要让大家认识到 AURIX™ 的强大性能，分享我们开发过程中的心得体会和 AURIX™ 培训工作这两年来积累的经验，教会大家最先进单片机的要点和如何应用并发挥到极致。学会 AURIX™ 不难，就是要全心投入去学！我来写书，而且不是一本书，是一套丛书：入门篇、中级篇和高级篇。入门篇三天上手，从基本应用案例开始让大家掌握基础，能用得起来；中级篇领悟应用要点，能从容搭建平台；高级篇让 AURIX™ 之高效、安全、安防的强大功能在应用中发挥到极致！”谢辉教授的坚定，让我想起小女儿对芭蕾舞的坚持。

盲聋哑人海伦·凯勒在《假如给我三天光明》中这样描述她最期望的三天：第一天，我要去看到那些鼓励我生活下去的善良、温厚与心怀感动的人们；第二天，我要与黎明一同起身，去欣赏日出日落以及光的变幻莫测，我想去探索与研究，看看世界的过去和现在；第三天，我要去体验工作的世界，和普通人一样，去为了生活而奔波。三天竟然可以领悟世界！

AURIX™ 三天的航程启动了。打开这部入门篇，仿佛立刻进入了美妙的技术殿堂，亲身体会科学的体系架构，高效的数据总线，便捷的信息通信，完备的信号采集，灵活的信号合成，缜密的时钟系统，新颖的运算协同，丰富的事件调度，清晰的存储管理……放下书，我脑海里不禁浮现出小女儿在优雅的《天鹅湖》伴奏下翩翩起舞的画面……

“对酒当歌，人生几何？”振兴中国设计和中国制造的当代汽车人，请您一起接受挑战：

三天轻松学会最先进的单片机！

英飞凌科技(中国)有限公司
汽车电子事业部大中华区副总裁 徐辉
于上海
2017年7月12日

前 言

AURIX™是一座奇妙的汽车电子殿堂,里面蕴含了无数精英在汽车电子领域的智慧,科学的体系架构,高效的数据总线,便捷的信息通信,完备的信号采集,灵活的信号合成,缜密的时钟系统,新颖的运算协同,丰富的事件调度,清晰的存储管理等,无不彰显着汽车电子设计大师们的深厚功底和独具匠心。

AURIX™系列单片机产品具有从 512 KB 到 8 MB 的不同 FLASH,同时具有 TQFP80 到 LFBGA516 各种封装,可满足开发者的不同应用和开发需求。AURIX™系列单片机具有显著优势,数据处理能力最高可达 1 300 DMIPS,其高端产品具备 8 MB FLASH 及 640 KB SRAM,可满足高速数据处理的应用需求。针对《道路车辆功能安全》标准(ISO26262),AURIX™可支持 ASIL-D 的最高安全等级。同时,AURIX™具有非常丰富的外设,以满足日益增长的车载控制和网络通信需求。

本书以车用缸内直喷汽油机(GDI)电子控制单元(ECU)最小系统的实现为目标,系统介绍英飞凌新一代 32 位多核 AURIX™单片机主要模块的原理、特点及其应用方法和例程,让读者能够快速掌握新一代先进多核单片机的应用技术,提升电子控制器的开发能力。所列举的例程,可以作为构建 GDI ECU 基础软件的重要组成部分。本书共分九章,前 8 章为 AURIX™的主要模块,第 9 章为开发工具与开发环境搭建,具体如下。

第 1 章主要介绍了汽车电子发展趋势、发动机控制系统简介、英飞凌 32 位单片机历史、AURIX™系列单片机特点及资源。

第 2 章主要介绍缸内直喷汽油机(GDI)控制器最小系统,同时分析 AURIX™单片机资源在 GDI 控制器上的分配。

第 3 章至第 8 章从功能应用角度分别介绍了 AURIX™单片机的 CPU、RAM、FLASH、A/D、DMA、I/O、GTM、CAN、QSPI、ASCLIN、CCU6、STM、时钟和中断等主要模块的功能特点、原理结构、应用方法与应用例程。

第 3 章为多核架构与存储空间,介绍了多核 CPU、RAM 和 FLASH 的应用。

第 4 章为信号采集与数据传输,介绍了 A/D 和 DMA 的原理以及它们之间的联合应用和 I/O 原理与应用。

第 5 章为 GTM 与驱动波形合成,详细介绍了 AURIX™单片机一个非常重要的特色模块 GTM 的原理和结构。以发动机转速测量、PWM 输出、喷油器驱动波形合成为例,介绍了 GTM 关键功能的应用方法。并以发动机控制中两个基础模块 EP

和 CSG 模块的开发为例,介绍了 GTM 特色功能的应用方法。

第 6 章为通信与外设管理,详细介绍了 MultiCAN+、QSPI 和 ASCLIN 等三个主要通信模块的原理结构及其在外设管理中的应用。

第 7 章为时钟与系统管理,详细介绍了 AURIX™ 单片机的时钟控制单元 SCU 与看门狗、系统时钟模块 STM 及单片机中断系统的原理、结构与例程。

第 8 章为 CCU6 与电机控制,以无刷直流电机控制为背景,介绍了 CCU6 模块的结构和原理及其在无刷直流电机控制中的应用方法和例程。

第 9 章为 AURIX™ 开发环境与系统集成,介绍了常用的编译和调试工具及其集成环境,基础驱动程序的生成工具等。

本书附赠光盘中包括了各模块应用实例代码,读者可将代码导入编译环境进行编译调试。

本书的适用对象为工业和消费电子、汽车电子等应用领域的工程技术人员以及相关专业的本科生和研究生,可有力促进读者掌握现代先进的嵌入式控制软硬件开发技术。

本书由天津大学谢辉、英飞凌汽车电子事业部徐辉任主编;天津大学李颖、张淑芳和谭从民老师,谢辉教授的研究生吴超、邹栋、于海鹏、阮迪望、姚冬春以及英飞凌科技(中国)有限公司汽车电子事业部张立红、陈汉顺参与编写。本书第 1 章由张立红、吴超、邹栋、李颖共同编写,第 2 章由邹栋编写,第 3 章由陈汉顺、谭从民共同编写,第 4、7 章由李颖、于海鹏共同编写,第 5 章由吴超编写,第 6 章由张淑芳、姚冬春、邹栋共同编写,第 8 章由阮迪望编写,第 9 章由李颖、阮迪望共同编写。全书由谢辉和徐辉负责策划与统稿。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2017 年 6 月 29 日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 汽车电子发展趋势	1
1.2 发动机控制系统简介	3
1.3 英飞凌 32 位单片机历史	4
1.4 AURIX™ 系列单片机	5
1.5 AURIX™ 资源特点介绍	9
1.6 本书附注	12
第 2 章 GDI 控制器最小系统及 AURIX™ 资源分配	14
2.1 缸内直喷汽油机介绍	14
2.2 GDI 控制器最小系统	15
2.3 AURIX™ 单片机 TC275T 的资源分配	16
第 3 章 多核架构与存储空间	20
3.1 AURIX™ 多核架构	20
3.2 存储空间	26
第 4 章 信号采集与数据传输	35
4.1 ADC 与传感器信号采集	35
4.2 DMA	48
4.3 GPIO 与开关信号采集及开关量输出	61
第 5 章 GTM 与驱动波形合成	69
5.1 引言	69
5.2 GTM 模块结构介绍	69
5.3 时钟管理	72
5.4 GTM 输入模块	76
5.5 GTM 输出模块	80
5.6 应用实例	86
5.7 复杂驱动设计概述	101
第 6 章 通信与外设管理	105
6.1 MultiCAN+ 网络通信	105
6.2 QSPI 与功率驱动芯片管理	117
6.3 ASCLIN	129

第 7 章 时钟与系统管理	136
7.1 SCU	136
7.2 STM	151
7.3 中断管理模块	155
第 8 章 CCU6 与电机控制	162
8.1 CCU6 模块的结构及原理	162
8.2 无刷直流电机的换相控制	167
8.3 CCU6 在无刷电机控制中的应用	170
第 9 章 AURIX™ 开发环境与系统集成	177
9.1 Framework 集成环境介绍	177
9.2 iLLD 软件介绍	182
9.3 调试器	183
9.4 开发板和 OpenECU	194
参考文献	197

第1章 绪 论

汽车电子是将电子信息技术应用到汽车领域的新兴行业。电子信息技术的快速发展以及汽车制造业的不断变革,使得汽车电子技术大范围应用并不断创新,极大地推动了汽车行业的发展。汽车电子技术在提高汽车动力性、经济性、安全性,改善汽车行驶稳定性、舒适性,降低汽车排放污染、燃料消耗等方面起到了非常关键的作用。随着汽车电子技术的发展,越来越多的电子控制单元被应用在汽车中。为了减少控制单元之间的物理连接,网络总线将各种汽车电子装置连接成为一个网络,通过数据总线发送和接收信息,提高电子系统的可靠性和可维护性。

随着汽车电子占整车比重的不断提高,微控制单元(MCU)在汽车领域的应用将成为世界上最大的MCU应用领域。

英飞凌(Infineon)作为半导体产品行业的领先者,其控制器家族包括8位的XC800系列,16位的XC2000及XE166系列,32位的TC11x、AUDO及AURIX系列,32位的XMC1000及XMC4000系列。其应用主要面向汽车电子、工业及多元化电子市场。

1.1 汽车电子发展趋势

进入20世纪80年代,汽车逐渐步入电子化、智能化时代,越来越多的电子技术取代了原来单纯的机电液操纵控制系统,以应对汽车安全、排放、节能日益严格的要求。除此之外,人们对汽车的安全性、环保性、舒适性、娱乐性有了更高的需求。汽车电子技术也在多样化、系统集成化、体积微型化、系统网络化等诸多方面得到了不断提高,包括电子控制的汽油进气道喷射、汽油直喷系统、柴油共轨系统、自动变速箱、双离合变速箱、无级变速箱、防抱死制动系统、电子稳定系统、安全气囊系统以及车道偏离检测、自适应巡航系统等。过去30年,汽车电子产业给汽车的发展带来深远的影响。

当前的汽车正处在轰轰烈烈的大变革时代,主题是新能源、智能化、共享化。中国市场上新能源汽车呈现出了爆发式的增长,2015年产量达到34万辆,2016年超过了50万辆。汽车的终极目标是自动驾驶,而自动驾驶汽车上路的时间也被各大车厂提上了日程,普遍预测在2020年左右。新能源和自动驾驶会把汽车带入共享的时代,人们不必再拥有自己的汽车,可以通过手机预约上门。

现在新的需求正影响着电气电子的架构,过去的方法是在每个机械功能上加入一个电子控制单元,然后所有的电子控制单元通过不同的通信总线相连接,大多数的板网架构通过中央网关连接。这样的架构成本昂贵,也很难持续下去。过去30年的汽车电子主要围绕三个基本的问题展开:这个功能在做什么;谁发展了这个功能;这个功能是如何、在哪里运行。这种传统的方法经常会由于电气电子架构的变化而改动。现在,汽车业有望逐步转移到域

控制器体系结构,应用领域的边界将被重提,从而促进系统和支持分布式计算的进化,这样一来功能分配将被进一步简化。未来车辆电气电子架构图形如图 1-1 所示。

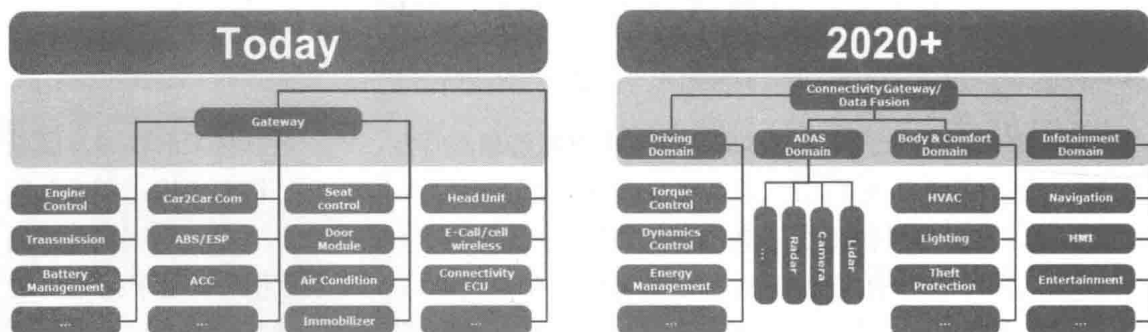


图 1-1 车辆电气电子架构图形

随着车辆电气系统的日益增多和复杂,软件和机电一体化应用不断增多,来自系统失效和随机硬件失效的风险逐渐增加。另外,消费者对车辆的安全性也越来越关注,国际标准化组织于 2011 年发布了功能安全国际标准 ISO26262,不满足功能安全的汽车如果发生事故,主机厂有承担责任的风险。功能安全在汽车行业变得越来越重要。

现在的车辆已经与便携式设备相连接,例如智能手机、笔记本电脑、便携式自动导航系统、车载自动诊断系统软件保护器等。不断增加车辆上的连接设备、云基础设施,为车辆的改进提供了各种机会。一个最典型的例子就是通过 GSM 或者无线网络实现软件的在线更新。所有这些新的功能都以安全通信为前提,安全通信可以验证消息,需要的话可以执行数据加密。车载网络需要方法来保护,如用防火墙、沙盒和入侵检测来阻止可能的攻击。为了保障车辆安全和信息完整,尽快实现进一步的安全性加强措施是很有必要的。车辆的连接和安全如图 1-2 所示。

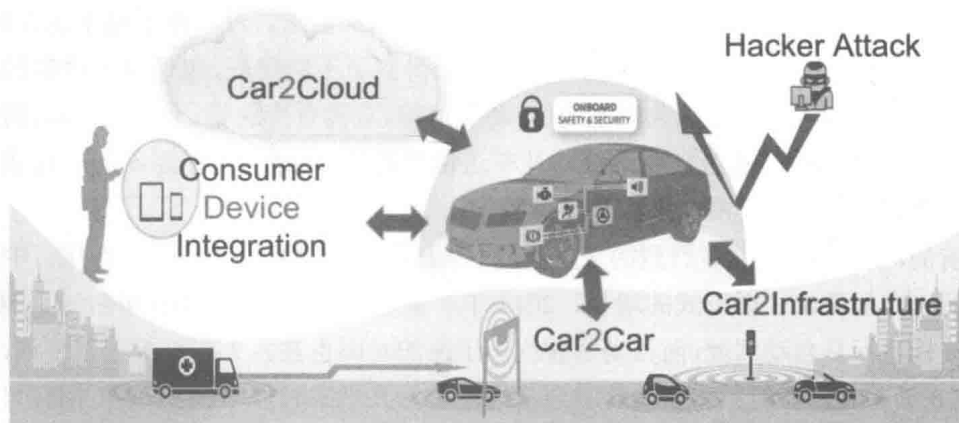


图 1-2 车辆的连接和安全

IHS Automotive 评估报告中写到通过软件的在线更新,全世界节省的成本将从 2015 年的 27 亿美元增长至 2022 年的超过 350 亿美元。客户的接受程度可以从两个关键方面确定:防止操纵攻击和车辆的可用性。而第一个显然也包括原始设备制造商和供应商 IP 地址的保护,车辆的可用性大大取决于固件更新的持续时间和 ECU 的性能。软件在线更新有两种基本方法:软件后台分区安装和钥匙关闭模式下的安装,这两种方法目前尚在讨论中。

软件在线更新和在服务站上更新最大的区别在于在线连接原始设备制造商的数据中的脆弱性和不可预测性。当下载数据的时候,原始设备制造商服务包第一时间被存储在中央数据存储器。下载过程在后台执行,可以在任何时间进行下载,不会影响到车辆的正常行驶。软件的在线更新如图 1-3 所示。

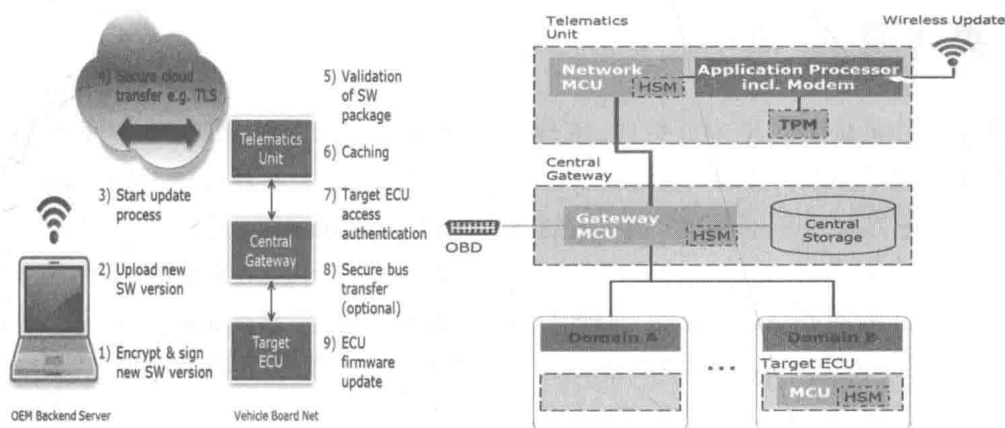


图 1-3 软件的在线更新

所有的这些变革都要借助于电子控制系统,电子控制系统的硬件核心是半导体芯片,可以说是半导体芯片造就了今天的汽车,也将造就未来的智能汽车。

1.2 发动机控制系统简介

内燃机系统自从 19 世纪末被发明出来,作为汽车主要的动力来源,一直被升级改进。近 30 年来,随着人们对汽车排放、油耗、舒适性和安全性的要求越来越高,内燃机系统电气化、信息化和智能化的特征日益显著。作为内燃机系统的控制中枢,其管理系统(EMS)发挥着越来越重要的作用。

发动机作为汽车的心脏,其性能直接决定整车性能。同时,汽车发动机集机械、电气、电子、流体力学、材料学等众多学科于一体,是一个复杂的被控对象,具有非线性、时变性、不确定性和不完全性的特点,不易建立精确的数学模型。

面对日益加剧的能源危机和近乎严苛的排放法规,缸内直喷汽油机(Gasoline Direct Injection, GDI)应运而生。GDI 发动机与传统的 PFI 发动机在整体结构上有很大的差别,作为一种新型的稀薄燃烧方式,GDI 发动机综合了压燃式发动机与点燃式发动机的优点,通过燃油的缸内直接喷射、可变喷油定时和控制缸内的气流运动等方式实现了燃烧模式的灵活切换,无论在降低燃油消耗还是在控制污染物排放方面都存在巨大的潜力。

伴随着先进传感器及电气执行机构的不断发展,汽车发动机电子控制系统在各个领域都取得了许多令人瞩目的进展。大量的新型传感元件和电气执行机构的使用,增加了发动机电子控制系统的控制自由度,也增加了变量之间的耦合程度,使发动机控制系统的模型更加复杂,这对发动机电子控制系统的控制理论、设计思想、标定和实验方法都提出了新的挑战,对单片机的接口能力、存储空间、运算和管理性能及安全性也提出了更高的要求。

综合考虑以上因素,本书以发动机管理系统为目标系统,以单片机各个功能模块为单元,详细讲述如何使用这些功能模块以及如何用这些功能模块来完成发动机管理系统的一组基本功能。虽然本书以发动机管理系统为目标系统,但基本功能模块的使用是大同小异的,只要根据目标系统的具体功能需求进行相应的设计就可以用于其他系统。

1.3 英飞凌 32 位单片机历史

英飞凌单片机从 8 位 XC800 系列、16 位 XC166 系列,到 32 位 TriCore™ 系列都集成了专为不同类型领域控制设计的高性能硬件单元,可以很好地满足从低端到高端的需要。

英飞凌在业界率先推出具有功率因数校正(Power Factor Correction, PFC)和磁场定向控制(Field-Oriented Control, FOC)功能的单片机,可使工业和汽车电子应用的电机驱动装置获得出色的扭矩、更低的噪声和更高的能效。XC878 由于具备 FOC 功能,这款 8 位 MCU 可处理以往由 16 位或 32 位 MCU 执行的任务;具备高达 10 个 PWM 输出端和 4 个独立时基的两个独立 PWM 单元可实现对两台三相电机的独立控制;高性能 XC878 具有 8 位机的价格,使得系统成本显著降低。

英飞凌 XC164CM 系列是增强型 16 位控制器家族的新成员,专业为电机驱动设计,拥有出色的数字信号处理(Digital Signal Processor, DSP)性能和先进的中断处理能力,还拥有功能强大的片上外设和可靠的高性能片上内存,自动纠错能力强,宽温区(-40~125℃)工作范围。

为了满足汽车动力传动系统对单片机计算性能及实时性不断提高的要求,1999 年英飞凌发布了第一代 AUDO(Automotive Unified Processor)。这颗 32 位 TriCore™ 单片机基于统一的 RISC/MCU/DSP 处理器内核,拥有强大的计算能力。从那时起,英飞凌就不断改进和优化这个产品家族,几经演进,便有了第四代 TriCore™。最后一代单核单片机产品,也就是 AUDO MAX 家族(版本 1.6)立足于 TriCore™ 架构(图 1-4),设立了高端市场的性能新标准。

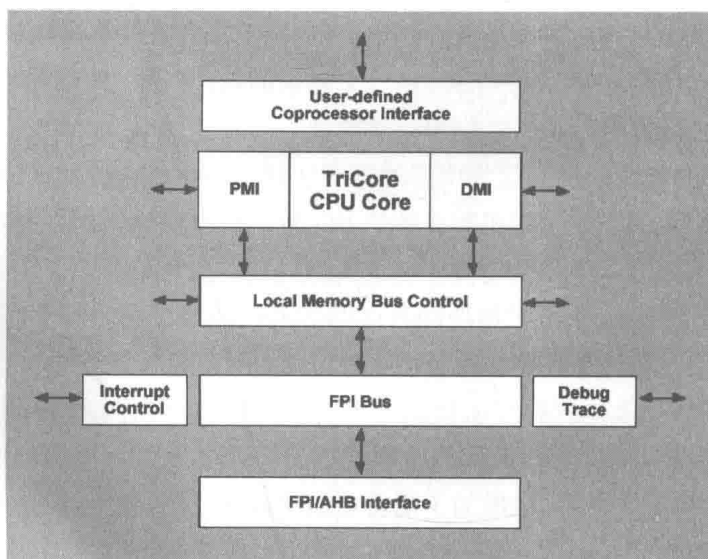


图 1-4 TriCore™ 架构

英飞凌 TriCore™是一款创新的、屡获殊荣的处理器解决方案,可统一实时功能微控制器、DSP 的计算能力和超标量体系结构 RISC 的价格、性能优势。三核的模块化系统架构通过灵活的集成,便于设计真正的片上系统解决方案、片上高密度存储器、专用外设和客户逻辑。

1.3.1 MCU 特性

- (1)位和字节的寻址和操作。
- (2)快速上下文切换(4个周期)和低中断延迟。
- (3)16位和32位指令。
- (4)强大的位操作支持。
- (5)DSP 功能。
- (6)双16位乘法器累加器,每个时钟的两个 16×32 MAC 的持续吞吐量。
- (7)SIMD 打包运算和零开销循环。
- (8)DSP 寻址模式和饱和计算。
- (9)寻址:循环,位反转,间接寄存器具有后和预增量。
- (10)支持舍入,截断,饱和,有符号分数。

1.3.2 处理器功能

- (1)32位加载存储哈佛架构。
- (2)超标量执行,四级流水线 CPU。
- (3)16个地址和16个数据寄存器。
- (4)3条流水线:算术,加载存储和循环。
- (5)单指令多数据功能。

1.3.3 TriCore™优点

- (1)集成 MCU-DSP 指令在一个内核。
- (2)在一个引擎上快速高效地处理多个任务。
- (3)低代码尺寸和固有的高级别语言支持。
- (4)一个开发工具集用于 MCU 和 DSP 任务。
- (5)更高的灵活性和更低的成本。

1.4 AURIX™ 系列单片机

虽然在汽车电子领域,处理器性能每五年增长三倍,但满足现代需求的计算能力并不容易达到。随着 CPU 频率不断增加,非线性功率损耗也进一步增加,如图 1-5 所示。物理性能与现实操作的限制使得计算能力的提升不能仅仅依靠增加 CPU 的频率,为了控制功率损耗,十年前在消费电子领域推出了单芯片集成多个内核的方法。AURIX™ 就是这一方法在

汽车电子领域的应用。

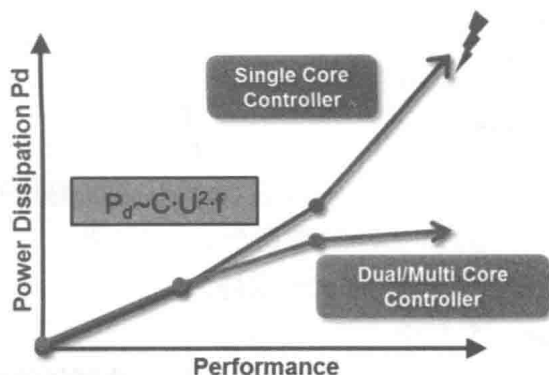
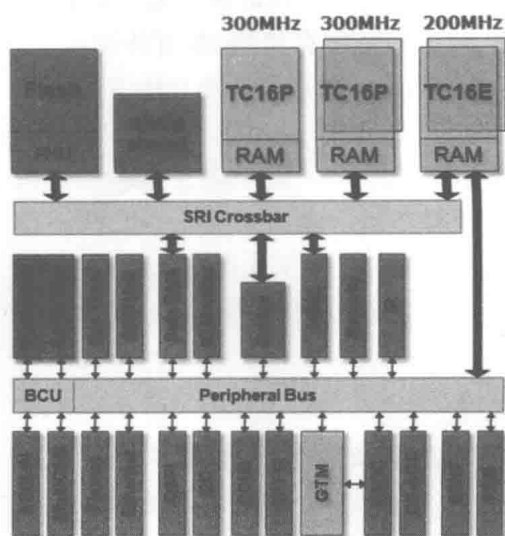


图 1-5 处理器体系结构和性能提升

2012 年 5 月 10 日,英飞凌推出满足未来几代车辆的安全性与动力总成要求的车用 32 位多核单片机系列 AURIX™, AURIX™堪称安全与性能的完美统一。全新的 AURIX™系列的多核架构包含多达三颗独立 32 位 TriCore™处理内核,可满足业界的最高安全标准。

由于具备出色的实时性能以及嵌入式安全与防护功能, AURIX™系列成为诸多汽车应用,譬如内燃机、电动汽车和混合动力汽车控制、变速器控制单元、底盘、制动系统、电动助力转向系统、安全气囊和高级驾驶辅助系统的理想平台。此外, AURIX™采用的架构还可显著减少符合当今最高汽车安全完整性等级 ASIL-D 标准的安全系统的开发工作量。与传统架构相比,安全系统的开发工作量可减少 30%,从而缩短产品的开发周期。另外,高达 100% 的性能裕量为实现更多功能和足够的资源缓冲以及满足未来各种需求创造了条件。除此之外,为更好地满足未来汽车防止被盗窃、欺诈或篡改的安全要求, AURIX™系列的 TC29x, TC27x 和 TC23x 均内置一个硬件安全模块 (Hardware Security Module, HSM)。

AURIX™多核架构采用通过 ISO26262 认证的流程开发 and 设计,可高效地满足 ASIL-D 级应用的要求。这种多核架构中采用了锁步 (Lockstep) 核模块来进行计算和验证,并结合采用安全内部通信总线和分布式内存保护系统等称雄业界的安全技术,另外允许不同来源的具备不同安全等级 (高达 ASIL-D) 的软件实现集成,这为将多个应用和操作系统无缝集成于一个统一的 AURIX™平台创造了条件。

AURIX™家族中高端芯片 TC297T、TC298T 和 TC299T,含有 3 颗 TriCore CPU。高性能核心版本 TC1.6P 在每个周期内执行三个指令,三个核可以达到 300 MHz,一个核含有额外的锁步核。3 颗 TriCore 内核通过一个 64 位的 SRI 总线连接,可以在总线主控、CPU 和存储器之间给予快速并行访问。详细的 AURIX™产品系列及主要资源见表 1-1,命名规则见图 1-6。

表 1-1 AURIX™产品系列

Feature Set		9x Series	7x Series	6x Series	3x Series	2x Series	1x Series
TriCore 1.6P	#Cores/ Checker	3/1	2/1	1/1	—/—	—/—	—/—
	Frequency	2 × 300 / 1 × 200 MHz	200 MHz	200 MHz	—	—	—
TriCore 1.6E	#Cores/ Checker	—/—	1/1	1/—	1/1	1/1 (1/0)	1/1(1/0)
	Frequency	—	200 MHz	200 MHz	200 MHz	133 MHz	133 MHz
FLASH	Program FLASH	8 MB	4 MB	2.5 MB	2 MB	1 MB	512 KB
	EEProm @ w/e cycles	128 KB@500k	63 KB@500k	16 KB@500k	128 KB@125k cycles	96 KB@125k cycles	64 KB@125k cycles
SRAM	Total(DMI,P- MI,LMU)	728 KB	472 KB	240 KB	192 KB	96 KB	56 KB
DMA	Channels	128	64	48	16	16	16
ADC	Modules 12bit/DS	11/10	8/6	4/3	2/—	2/—	2/—
	Channels 12bit/DS	84/10 diff	60/6 diff	50/3 diff	24/—	24/—	24/—
Timer	GTM Input/ Output	48/152 channels	32/88 channels	24/64 channels	8/32	8/32	8/32
	CCU/CPT modules	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
Interfaces	FlexRay(#/ ch.)	2/4	1/2	1/2	1/2	—	—
	CAN FD ³⁾ (nodes/obj)	6/384	4/256	5/256	6/256	3/128	3/128
	QSPI/ ASCLIN/I2C	6/4/2	4/4/1	4/4/1	4/2/—	4/2/—	4/2/—
	SENT/PSI5/ PSI5S	15/5/1	10/3/1	6/2/1	4/—	4/—	4/—
	HSCT/MSC/ EBU	1/3 diff LVDS/1	1/2 diff LVDS/—	1/2 diff LVDS/—	—/—/—	—/—/—	—/—/—
	Other	Ethernet	Ethernet	Ethernet	—	—	—
Safety	SIL Level	ASIL-D	ASIL-D	ASIL-D	ASIL-D	ASIL-D	ASIL-D
Security	HSM	Yes	Optional	No	Optional	No	No
Power	EVR	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Stand by Control Unit	Support	Support	Yes	WUT+SRAM	WUT+SRAM	WUT+SRAM

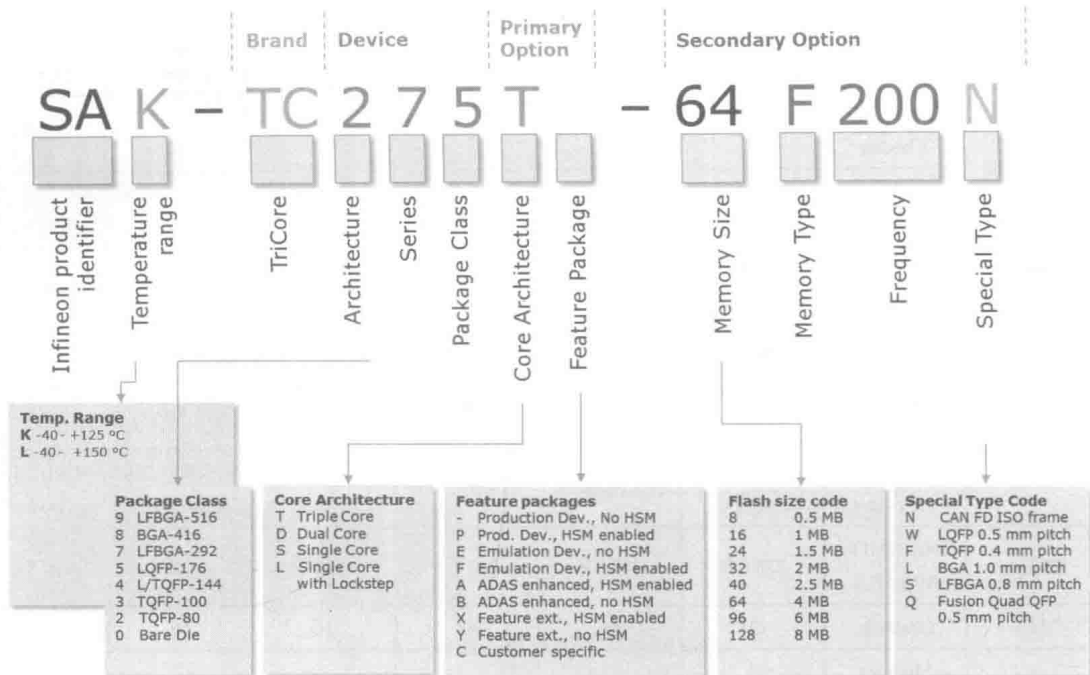


图 1-6 AURIX™ 产品命名规则

另外，AURIX™ 家族为了适用于不同的应用和性能需求，同样提供了双核以及单核版本（有或没有锁步检查核）。TC29x 共含有 8 MB 的程序闪存，被分成两个独立的读取接口，从而允许两个不同 CPU 的并行访问，并且没有速度限制。相对于 90 nm 技术的先驱产品，在闪存编程性能上已经取得巨大的进展。数据闪存可以为 EEPROM 仿真和 SRAM 补充提供配置。EEPROM 仿真可以满足 10 年内的最大数据量进行 50 万次擦写。

AURIX™ 系列的所有产品均采用 65 nm 嵌入式闪存技术制造，可确保在严酷的汽车应用环境中达到最高的可靠性。为确保持续不断供应优质产品，英飞凌采用了两个前道工厂的供应模式，在两个地点设立采用通过相同的认证流程和工具的工厂。

英飞凌的工具合作伙伴提供了一揽子 AURIX™ 系列专用工具，以确保实现最优设计流程，有效控制多核软件开发的工作量和成本。强大的工具链包括专门优化的 C/C++ 交叉编译器以及具备丰富的高效调试与跟踪功能的调试器。此外，专用的测量、标定和诊断工具还可提供动力总成 ECU 开发所需的功能。

利用特性丰富的编译器和成熟的时序及调度分析等工具，成功解决了正确性、性能和可扩展性等多核软件开发的各类问题。多个特性丰富的仿真套件，有助于客户模块化设计 AURIX™ 器件的外围电路，它们还可轻松与 Matlab Simulink 等建模工具结合使用。

英飞凌提供免费工具链，它包含一个全功能 GNU C 编译器（包含调试器）和基于 Eclipse 开发环境的 TriCore 入门级工具链，可从 TriCore 产品网站（www.infineon.com/free-tools）免费下载。

英飞凌还提供基于 AUTOSAR v4 MCAL、支持 4.0.3 版的 MC-ISAR 底层驱动程序。这能够让设计人员充分利用基于 AUTOSAR 的控制单元开发流程。AUTOSAR 驱动程序立