

汽车电子

车身电子的未来发展

AMPG车身电子系统工程团队



freescale.com

目录

1 简介	2
2 网络	3
3 超级集成	8
4 功耗	10
5 功能安全	14
6 安防性	15
7 结论	17

1. 简介

当今的驾驶员希望在其汽车中获得更高水平的舒适性、安全性、效率和消费电子功能。这些汽车领域的需求反应了社会的整体需求，其中“互联世界”和机对机 (M2M) 通信正在成为最热门的话题。

在更加新型的汽车中，有多个摄像头(车道偏离警告系统和自动巡航控制等)和多个用于卫星导航、倒车摄像头和仪表盘等的薄膜晶体管(TFT)屏幕。随着计算性能和嵌入式存储器容量的提升，这些新特性驱动了对车载网络中高带宽的需求，也因此驱动了以太网连接的应用。除了这些高带宽连接以外，在汽车的控制应用中也出现了越来越多的传感器、促动器和电机。传感器测量气体(CO_x和NO_x等)、各种温度、振动、车轮速度、扭矩、偏航和其他参数，以帮助提高效率和安全。促动器(包括继电器和电磁阀)和由MCU控制的电机、驱动泵、风扇、供暖通风和温度调节(HVAC)、电动车窗升降器和天窗等。由于以下两方面的原因，额外功能带来了功耗的增加：第一，由于硬件重量增加，燃油经济性降低，第二，实现额外功能需要更高的计算性能、嵌入式存储器容量和更高的带宽连接性，每一项都会增加功耗。

虽然，随着低数据速率小型传感器和促动器的爆炸性增长，主计算资源向少量的中央域控制器集中，该增长也要求汽车采用许多新的电机控制单元(ECU)。在图1中，Strategy Analytics的数据预测了各级别汽车ECU数量的增加。虽然平均来说，目前的汽车大约采用25个ECU，但一些高端型号已经采用超过100个ECU。

这些发展趋势结合在一起，会导致一个规模更大的车载网络，使线束通常成为汽车中第二重的组件(位列引擎之后)，长度超过6公里的铜线，重量超过70公斤。

除了对更高计算性能和网络性能的需求以外，人们对车载网络安全的要求也越来越高，以应对日益复杂的电子产品，以及它们实现的功能的关键特性。另外，随着汽车的双向无线通信变得越来越普遍，人们对汽车MCU的安防措施也产生了前所未有的需求，以防止未经授权访问车载网络给车主带来危害，并保护它包含的知识产权。



2. 网络

当代汽车具有许多能提供诸多功能的ECU。这些功能可能分布在多个ECU上，其中大多数是连接至一个或多个系统总线的网络节点。

这些ECU控制多种功能，例如照明、空调、座椅、引擎或变速箱。控制器区域网络(CAN)、局域互联网络(LIN)和

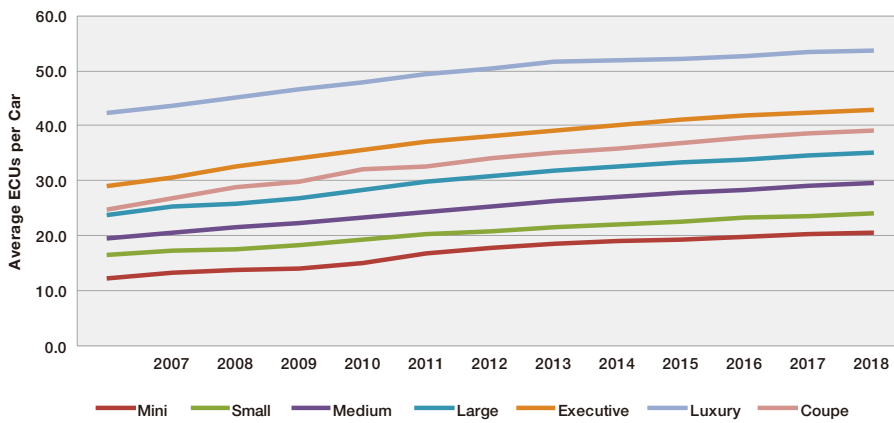
FlexRay等与其连接的各种总线系统构成了汽车中的分布式网络。

未来，车载网络架构将由高度集成的域控制器组成，它将通过速度更快的总线系统互联。从业界发展趋势中可以发现，以太网将成为域网络的“主干网”并取代CAN，但是也有一些

FlexRay的示例。CAN、FlexRay和LIN次总线将为车载子域中的智能节点提供连接性，而这一高度互联的架构需要强大的域控制器支持。

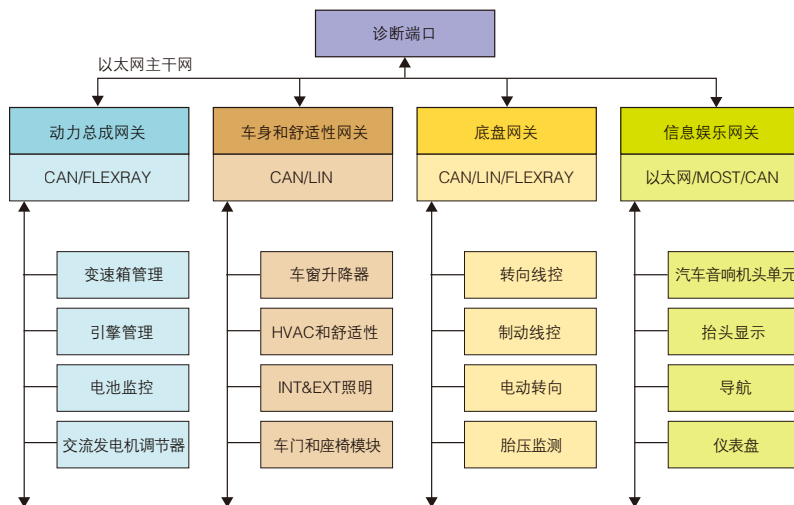
图2展示了如何根据相关域控制器，将车载网络划分为单独的应用域。这些域控制器需要大量的处理功率和实时性能，以及大量的通信外设。

图1：所有级别汽车中ECU增加的数量



来源：Strategy Analytics

图2：根据应用域划分的车载网络



飞思卡尔Qorivva MPC5748G系列是高度灵活的MCU，适合作为一种先进的集中网关控制器和高端车身域控制器运行，或兼具两种功能。凭借大量的通信接口、高性能水平和低功耗，Qorivva MPC5748G成为这些运行应用的理想器件。

MPC5748G MCU采用基于Power Architecture®技术的e200内核，面向汽车网关和高端、集中式车身控制器模块应用而开发。该器件包含两个160 MHz e200z4内核和一个80 MHz e200z2内核，提供了一种具有灵活功率性能的解决方案。MCU的主要特性包括6 MB嵌入式非易失性闪存和768 KB嵌入式SRAM，另外还支持革命性的新型低功耗模式。特性集包括一个e200z0硬件安全模块(HSM)，超过了Hersteller Initiative Software (HIS)标准的安全硬件扩展(SHE)要求，以及多种通信、模拟和定时器模块选择。该器件是一款SafeAssure解决方案(参见第5节)，符合汽车功能安全标准(ISO 26262)，至少具有汽车安全完整性等级(ASIL)-B级的特定安全功能。

表1所示为MPC5748G MCU支持的通信接口等级，进一步证明了其适合作为域控制器，以及在高端车身控制器应用中的适用性。

凭借其多核设计和相关的特性集，MPC5748G MCU特别适合支持单一架构中的多个应用。在不同内核及其相关资源之间的高度分离和隔离允许在应用级进行隔离。这意味着它可以专门指定一些MCU资源(例如内核、外设子集和存储器)用于一个应用，同时将具有外设和存储器子集的另一内核用于完全独立的另一应用。这些MCU特性在汽车级是非常重要的，它们打破了汽车特性与ECU之间的1:1对应关系。为了使汽车的选项经济高效并且可以在一个复杂的制造环境中管理，汽车的特性需要由通用硬件平台上的软件提供支持。该应用隔离的另一个优势是为软件集成商提供了保护，可核对来自许多第三方开发商的软件，确定其能够独立、自动运行。

图3中的MPC5748G架构示意图显示了支持此类高度应用隔离的一些特性。

为了在一个实际的现实应用中展示MPC5748G MCU的这些特性和功能，图4显示了建议的使用案例。在该示例中，器件控制两个独立的域：

- 一个网关域
 - 处理传统的汽车开放系统架构(AUTOSAR)汽车网关功能。
 - 拥有专用CPU和相关的存储器和外设资源。
 - 几乎独立地运行IP域，但可以通过共享存储器和中断消息架构安全地交换数据。

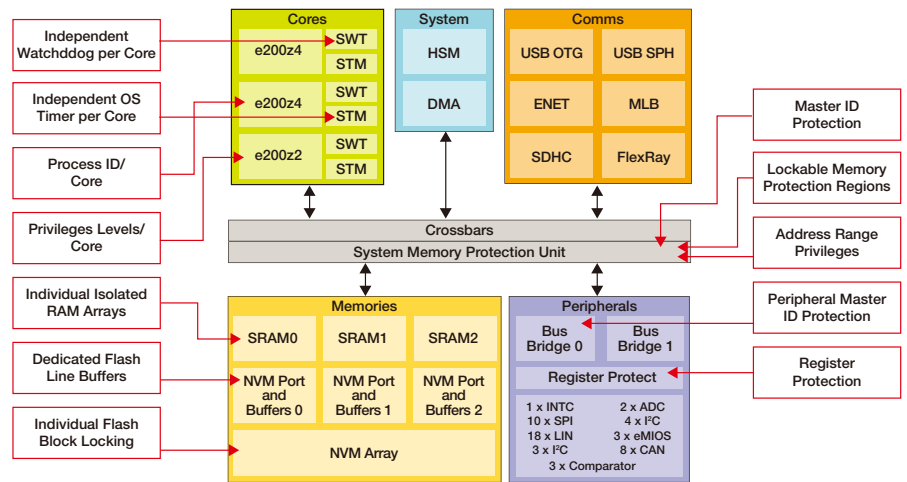
表1：由MPC5748G MCU支持的通信接口

通信	位速率	描述
FlexCAN	CAN2.0 1Mbps CAN FD 8Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • 符合CAN2.0B规范 • 邮箱支持 • FIFO支持 • 符合主动和被动CAN_FD规范 • 在一个节点上的低功耗虚拟网络过滤
LINFlex	20kbps	<ul style="list-style-type: none"> • LIN协议版本1.3、2.0、2.1和2.2 • 1x Master/Slave, 17x Master支持LIN
以太网	100 Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • 支持(RMII*, MII** + IEEE 1588)
FlexRay	10 Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • 支持FlexRay2.1 • 128 MB.
SDIO (全速) SDIO (高速)	25 MHz 40 MHz	<ul style="list-style-type: none"> • 安全数字输入输出
USB	480 Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • 1个on-the-go • 1个主控制器 • ULPI接口
MediaLB®	2048 fs ~98Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • 3引脚和6引脚接口 • 速度等级最高为2048Fs
SPI	40 MHz	<ul style="list-style-type: none"> • 串行外设接口 • 最多4个，用于SPI控制LED驱动器

*RMII = 简化媒体独立接口

**MII = 媒体独立接口

图3：MPC5748G MCU上实施的应用隔离和保护机制



- 一个IP域
 - 连接至互联网，用于支持多种应用，例如在车载网络中分布场内下载。
 - 使用专用e200z4内核、专用系统RAM和一部分闪存阵列，运行其自己的操作系统(OS)，此系统具有其自己的OS计时器、看门狗和系统资源。

汽车软件刷新

汽车软件内容的刷新和重刷是高级汽车电子的一个新兴领域。过去，汽车软件刷新在严格控制的工厂条件下进行，并在汽车的例行维护期间实施可用更新，该概念正在扩展，而现在，用户可以在汽车行驶时非常方便地进行无线更新。如图5所示，汽车平均约有10 MB的闪存，但是许多高端汽车的闪存比这一数字至少高10倍。

详述各方面的挑战：目前，当代汽车具有超过50 MB的嵌入式闪存，分布在ECU上(不包括信息娱乐/多媒体领域)。原始设备制造商(OEM)需要能够以可靠、便捷的方式安全地更新部分或全部内容，同时最大程度减少对驾驶员造成的影响。在行驶中进行软件重刷需要解决许多需求和挑战：

- 安全
 - 新软件不能导致任何系统故障
 - 如果需要，能够回退至以前的软件版本
- 安全性
 - 更新不能被中断，未经批准的更新无法访问
 - 必须验证已下载软件的完整性
- 透明
 - 行驶中的更新必须最大程度减少对驾驶员使用汽车的干扰

汽车制造商也需要能够在行驶中下载新的软件刷新镜像并将其安全地存储，以便以后当汽车或特定ECU处于安全运行/非运行模式时进行编程。MPC5748G MCU非常适合此类应用。它具有非常适合为广泛的汽车刷新和重刷应用提供支持的诸多特性，能够接收和存储镜像，然后将镜像发送至相关节点。表2：适用于汽车软件重刷应用的MPC5748G MCU特性，以下列出了其中一些特性及其相关优势。

高级网络

基于摄像头的停车系统、车载TV和驾驶员辅助等新应用需要更大的程序和数据存储。例如，最新的高端汽车系列之一具有超过1 GB的嵌入式存储器，分布于100多个ECU上，而之前的型号只有不到100 MB的存储器。因为每辆车都增加了ECU的数量和嵌入式存储器的容量，对网络带宽的需求也不断提高。

图4：MPC5748G MCU多域运行

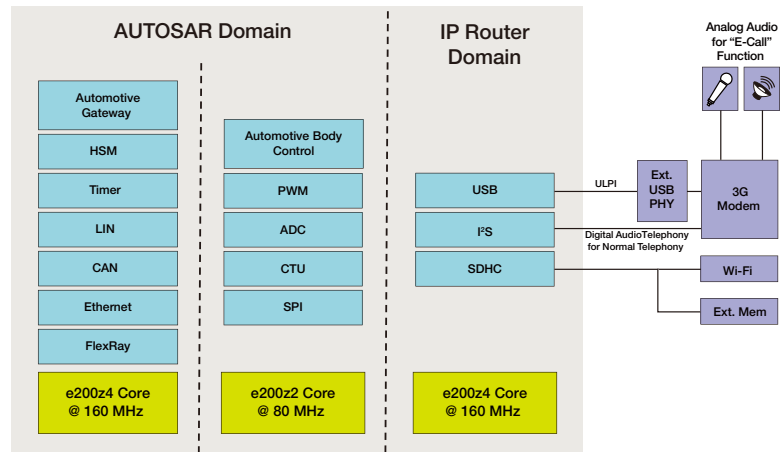
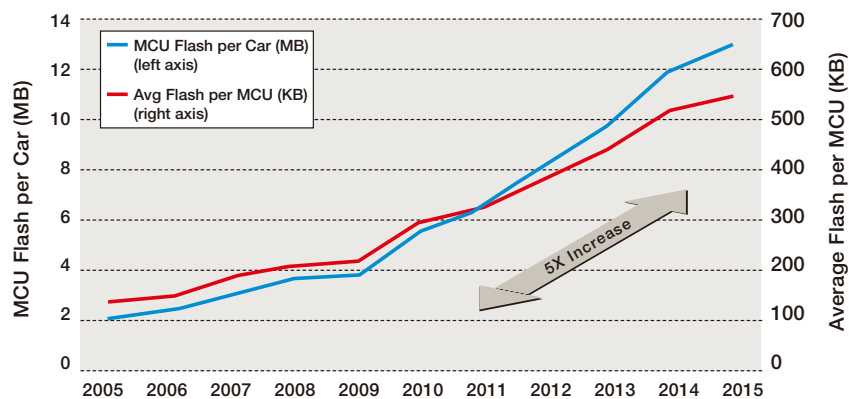


图5：汽车中的嵌入式闪存容量评估



资料来源：Strategy Analytics & 飞思卡尔分析

以太网

随着预计的数据量增加、嵌入式存储增加并向规模更大的域控制器架构迁移，需要一个新的高速接口实现互联互通。以太网是高速网络的一个显而易见的选择，因为它在非车载应用中广泛使用，并已经用于量产汽车。最初，以太网由一些OEM作为高性能数据接口引入汽车用于诊断和软件下载，以便减少生产和服务中心的编程时间。这种方法已经传播至其他OEM，并有望促成一项ISO/SAE标准，规定以太网可以用作车载诊断(OBD)接口的一部分，取代以前的标准中使用的CAN。另外，目前已经

将以太网用作环绕摄像头系统网络的原形设计。在该系统中，以太网将在普通的运行状态中使用，显著升级了其在诊断领域的应用。物料清单(BOM)成本的降低促进了这一变化，由于物理接口的改进，即便使用成本极低的单对非屏蔽双绞线(UTSP)布线也可以满足电子干扰(EMI)的要求。通过使用价格较低的UTSP布线，可以节省BOM成本。图6展示了一家汽车制造商如何降低成本和增加以太网的使用。

以太网的优势不断增加，是主干网络的理想选择。主要优势有：

- 增加了带宽选项(可扩展性)
- 使用低成本UTSP，将电磁兼容性(EMC)排放保持在限值以下
- 以太网是众所周知的、成熟的网络结构
- 许多开发人员都使用过以太网
- 轻松集成消费电子设备
- 许多供应商提供硬件和软件
- 提供低成本和免费工具

根据预计，未来数据总量将出现增长，OEM需要可扩展的车载架构，因此，增加了带宽选项是个更显著的优势。以太网在该领域的表现非常强大，具有1 GB/s和更高的容量。事实上，如图7所示，车载网络落后于消费电子许多年，因为1 GB/s和10 GB/s网络在非车载网络中非常常见。

以太网的另一主要优势是在消费电子领域的成熟度，由此产生了一个汽车团队可以使用的大型开发人员、知识、供应商、工具和软件池。以上重点介绍了诸多优势，并考虑了以太网已经在量产汽车中使用，这预示着它将进一步扩展，以太网将成为域控制器之间高速主干网的选择。

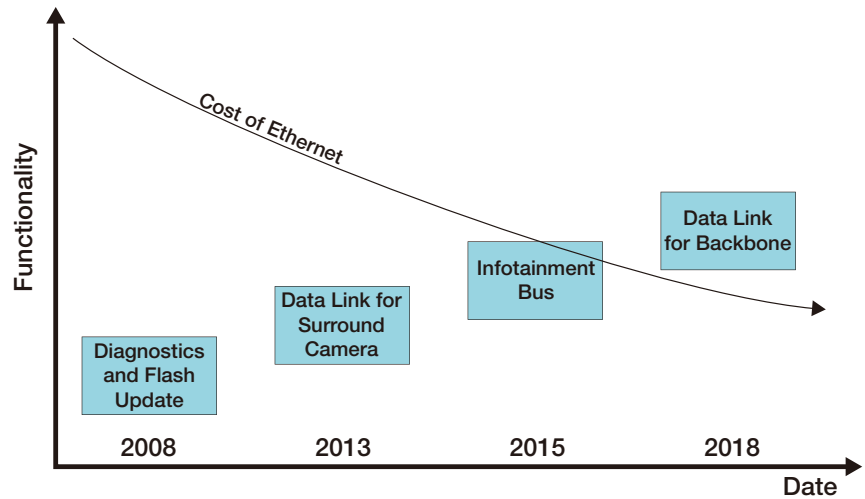
MPC5748G MCU及其衍生产品能够非常完善地满足以太网的未来需求。这些MCU支持ENET以太网复合，为车身/网关应用中使用的以太网提供大量所需的嵌入式存储器。MPC5748G MCU中使用的ENET复合支持100 Mbps，现可升级支持千兆以太网。千兆版本具有完整的软件兼容性，并集成至其他飞思卡尔产品。

另外，ENET复合已经更新，凭借多队列支持和流量整形全面支持音频视频桥接(AVB)标准，满足AVB服务质量(QoS)要求。AVB多队列支持可分离硬件中的

表2: 适用于汽车软件重刷应用的MPC5748G MCU特性

特性	优势
多达6 MB闪存	• 足够的存储容量可支持本地应用(即BCM或网关功能)，以及汽车中另一个节点的附加镜像。
多闪存分区	• 在闪存区域中编程的同时，能在另一区域执行。允许最大程度减少对应用的干扰，同时存储闪存下载。
多核和独立资源	• 能够管理用于闪存下载和存储的单独应用，同时最大程度减少对主应用的干扰。
接口	<ul style="list-style-type: none"> • 支持高速CAN_FD，可在车载网络中快速分配闪存容量。 • 用于连接网络IP的SDIO和USB(Wi-Fi(R)和3G等) • 用于诊断连接的以太网 • 用于串行连接的JTAG和UART
硬件闪存重新映射方案	• 能够无线交换内部闪存地址映射。包括对后续重置应用重新映射的机制，同时仍然允许简单的回退功能...
低功耗	• 能够通过低功耗、汽车停放模式在车载网络中分配镜像 - CAN & LIN节点在新型低功耗单元(LPU)模式中激活。
快速编程闪存	• 访问次数充足，速度快
安全性	• 硬件安全模块(HSM)用于验证下载的完整性，并确保在车载总线网络中实现安全通信。
存储审查	• 用于保护器件的非易失存储器(NVM)内容的强大机制，可避免将更新暴露给黑客。
强大的Boot-loader	• 基于不可擦除NVM的boot-loader，支持在工厂条件下进行串行下载。
Can FD	• 快速下载至汽车，同时位于现有CAN总线基础设施的车载网络中。

图6: 早期部署以太网的OEM如何使用以太网

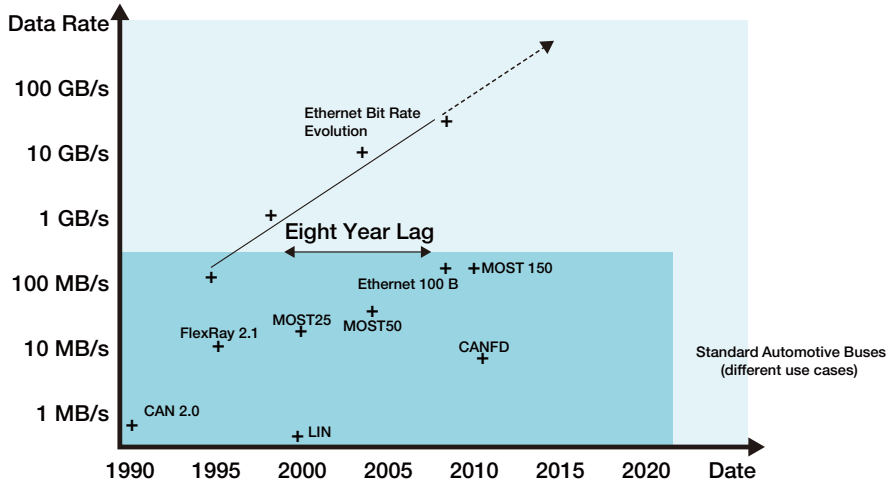


来源：飞思卡尔

不同流量类型，使软件驱动更加高效地分流中央处理单元(CPU)。多队列和流量整形还允许分离应用任务，并确保始终传输具有更高优先级的数据。一个示例使用案例出现在结合了车身和网关功能的域控制器中。从原则上来说，二者

可以通过将任务分区至多个队列共享一个MAC。这帮助确保具有更高重要性的任务(例如那些网关中的任务)始终可获得充足的网络带宽。图8所示为多队列 ENET复合的框图。

图7：与以太网相比，车载网络比特率落后



来源：飞思卡尔

图8：多队列ENET复合的框图

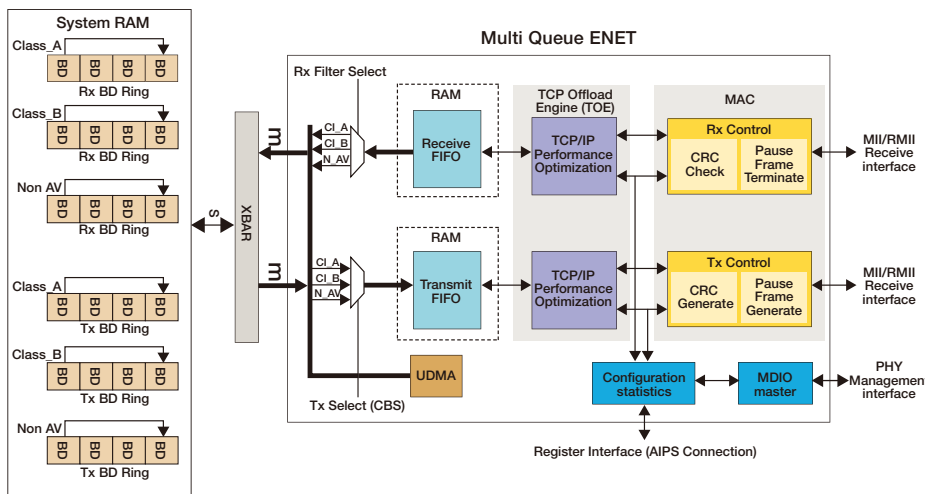
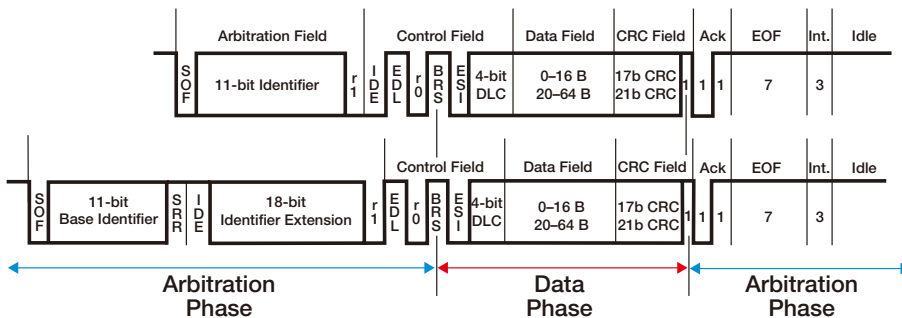


图9：CAN FD帧结构（CAN FD Base和扩展格式）



来源：飞思卡尔

CAN FD

未来的MCU需要容量更大的嵌入式存储器，而这将增加汽车的总体编程时间，增加生产和服务成本。更加复杂的ECU还需要在相互之间传输更多信息，而这要求现有汽车网络具有更高的带宽。另外，为了使诊断端口和域控制器互联（大型ECU）迁移至以太网等高速数据接口，业界也希望增加现有CAN2.0网络的吞吐量，因为这一革命性的增长可帮助保护现有投资。由此导致创建了CAN Flexible Data-rate(FD) (CAN FD – ISO 11898-7)，它允许CAN消息数据部分的波特率增加至8 Mbps、有效负载增加至64 bytes，以便提高吞吐量。图9展示了用于提高吞吐量的CAN FD帧结构。

图10展示了与CAN FD相比，CAN2.0吞吐量的提高，也显示了各种数据相传输速率(4和8 Mbps)和有效负载大小(8和64 byte)。

该示例显示了通过部署 CAN FD，可以实现数据吞吐率显著提升(最高6x)，尤其是当需要更大有效负载时。可以利用这一显著提升的数据吞吐率来缩短编程时间，并在ECU间传输更多数据。

MPC5748G MCU系列中使用的FlexCAN3模块同时支持CAN2.0和CAN FD。FlexCAN3是具有灵活缓冲布局的完整CAN实现。所有邮箱都支持使用CAN 2.0和CAN FD格式发送和接收。实现得到优化，以允许CAN2.0、CAN FD和交错的CAN2.0和CAN FD，因此用户可以高效地分别配置每个邮箱。

这一优化还允许对编程和功能用例提供完整的支持。图11所示为FlexCAN3缓冲器布局的框图。

缓冲器大小不一，有8、16、32和64 byte，以适应不同的CANFD用例。例如，大部分64 byte有效负载帧可能用于程序下载。

3. 超级集成

随着汽车电子功能种类的不断增长以及功能自身的复杂性的提高，在如今的汽车系统所使用的架构中，大量ECU彼此之间进行通信。在外设方面，执行器和传感器也变成日益强大的嵌入式MCU，连接通信接口、电压调节器和其他应用特有的组件。

分布式智能执行器和传感器的架构的主要使能技术之一是高度集成的集成电路芯片(IC)。这种高度集成是实现高效和优化的系统解决方案的第一步，同时也是最重要的一步。通常需要两个或三个IC才能满足应用需求，现在只要一个IC便足够了。这带来了各种优势，本

节的后面将讨论这些优势(参见“集成的价值”)，但首先，它能够减少一半的印刷电路板(PCB)空间，如图12所示。飞思卡尔的LL18UHV技术通过封装或晶片级集成，将高压(40V)模拟、数字逻辑和非易失性存储器结合在一起。系统级封装(SiP)设计在S12 MagniV混合信号MCU产品系列中实施，为许多车身电子应用提供了功能强大、具有成本效益的解决方案。如果集成的混合信号MCU产品与MPC5748G MCU 高端车身域控制器一起设计到汽车网络中，便可获得更高的系统级优势。

网络

智能化和高度集成的执行器和传感器节点通过它们各自的系统网络来传递信息。

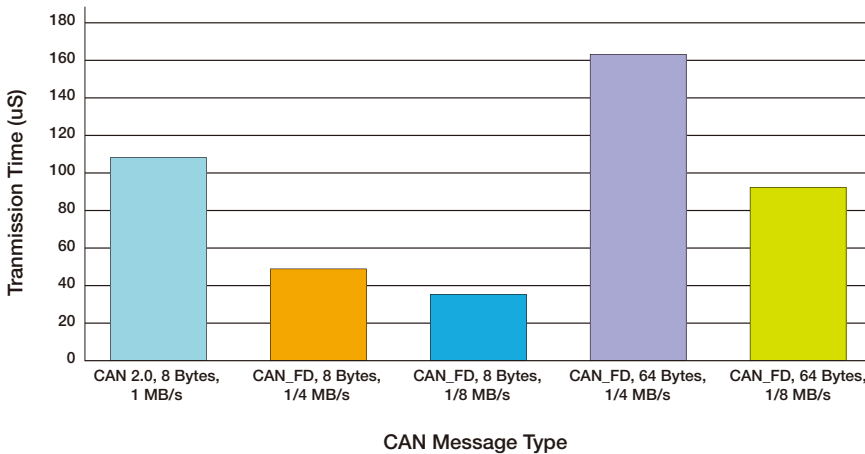
高度集成节点的一个示例是车灯控制开关模块，将驾驶员打开前灯的意愿发送到驱动照明ECU。大多数车身电子应用都使用LIN和/或CAN通信接口。延迟和带宽等应用需求以及成本对选择特定接口有一定影响。由于实际的通信物理层(PHY)主要是受到电气和电磁需求

(ESD、EMI、EMC)的推动，是器件面积的一部分，不能忽略不计，因此通常LIN或CAN PHY根据应用需求进行了集成。带有嵌入式LIN PHY的通用S12ZVL系列MCU和带有片上CAN PHY的S12ZVC系列可满足这些需求。

除了LIN和CAN协议，其他面向动力总成或底盘的通信接口，比如单缘半字节传输(SENT)或外设传感器接口5(PSI5)，也引起了大家的兴趣，可进一步降低网络成本。例如，使用PSI5替代LIN可将电线和接头针数从三个(LIN、VBAT、GND)减少到两个(电源、GND)。即使PSI5需要将数据调节到电源线上，所节省的线束和接头足以满足电子方面的更高要求。

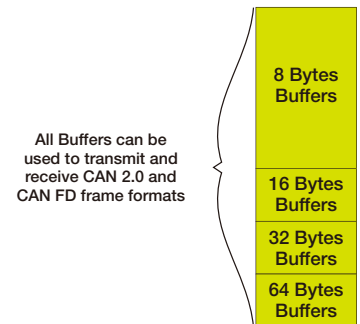
虽然低成本协议不断发展，但多年来，在汽车传感器和执行器中，特别是在车身应用中，总体仍趋向于基于LIN和CAN的节点。Strategy Analytics表示，到2018年，LIN节点的数量将超过10亿，CAN节点数将超过20亿大关。每辆汽车的平均节点数将是大约10个LIN节点和

图10: CAN帧类型和传输类型 (x/y代表CAN帧的仲裁相/数据相中的数据速率)



来源: 飞思卡尔

图11: FlexCAN3 FD缓冲器布局



大约20个CAN节点。LIN节点的预计复合年增长率(CAGR)为17%，LIN节点的市场增长将明显高于CAN节点，CAN节点拥有13%的CAGR。这表明LIN节点实现的简单功能越来越多。图13展示了这种增长的重要性。

机电一体化 – “二级集成”

机电一体化将多个工程学科(包括机械、电气和控制工程)结合到一个系统或产品中。将机械和电子及软件结合在一起，能在更小空间内设计出专用的、优化的，从而具有成本效益的电子系统，同时提高了系统的功能和灵活性(可编程性)。这方面的集成并不限于IC。然而，机电一体化系统中的嵌入电子需要正确的基本构件和生产技术、应用基础知识和特定应用集成电路(ASIC)。

如图14所示，前面提到的LL18UHV可看作是符合这种趋势的业界领先的技术。LL18UHV技术是成熟的低漏电技术(LL18)的演进成果，LL18已在全世界两亿多个S12 MCU中实施。在CMOS + NVM加工步骤之前，添加LL18UHV的几个工艺步骤(埋层N型阱和深层链接，用于隔离晶体管)，基本的晶体管参数和成熟的可靠性不受影响。

该技术的电压可在12V汽车电池系统中支持40V，支持负载突降。这些高压电路元件通常不包含在制造MCU的技术中，但如果要将单封装器件集成到机电执行器和传感器节点，则需要这些高压电路元件。

图12：提高集成度大大减少了PCB空间

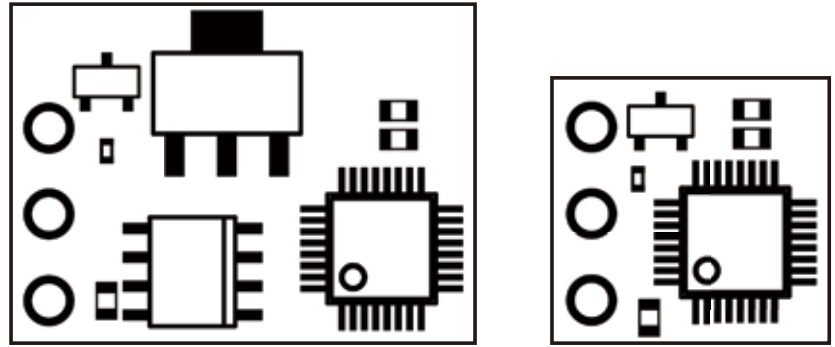
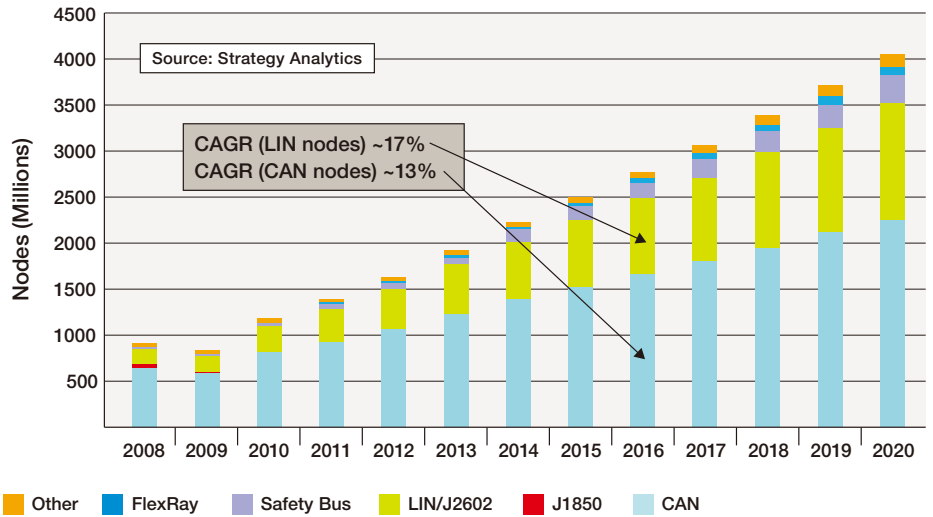
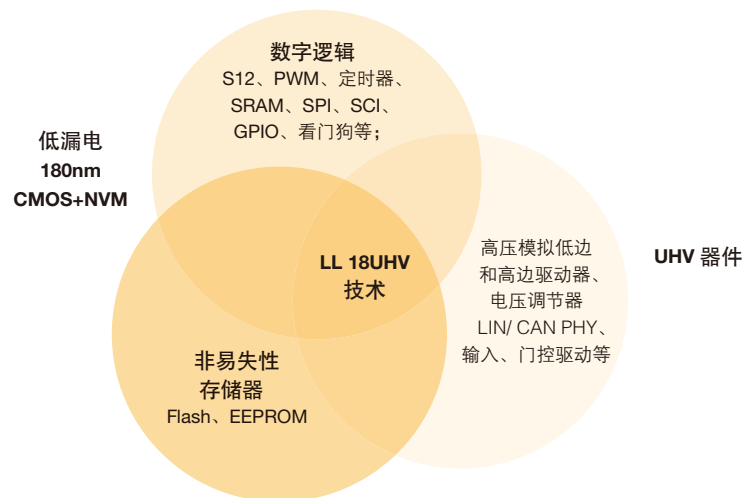


图13：汽车中 CAN、LIN 及其他节点的增长



信息来源：Strategy Analytics

图14：LL18UHV 技术的机电一体化功能



基本构件

典型的机电传感器或执行器节点共享下列通用基本构件：

- 带有标准外设的MCU，包括脉宽调制(PWM)、定时器、模数转换器(ADC)、通用输入/输出(GPIO)等。
- 强大的电压调节器，从+12V汽车电池获得相应的电源(如5V)
- 包含物理层(如LIN或CAN PHY)和实际协议控制器(SCI、MSCAN)的通信接口

对于最高级别的系统集成，还添加了其他与应用相关的模块，包括低边驱动器、高边驱动器、预驱动器、高压输入或其他模拟和高压模块，如图15所示。

集成的价值

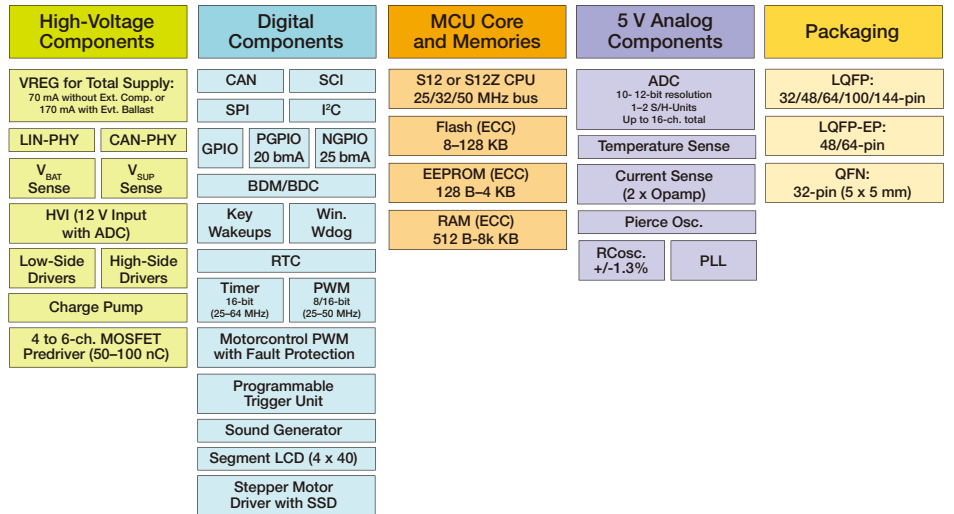
评估集成的价值总是非常难。当然不仅仅是产品成本。例如，想象一下采用带有Vreg、LIN PHY等的嵌入式MCU的车窗升降系统，而不是传统的机电系统。确定集成的实际价值需要进行非常彻底的调查。例如：

- 减少了BOM(减少了组件数量)
- 减少了PCB的大小
- 减少了设计所用空间(通常由OEM进行严格监管)
- 减少了尺寸、重量、线束和材料
- 使机械接口更简单
- 更可靠的设计(例如，监测/监督电子组件导致更简单的机械结构)

还有一些不太显著、也不容易进行评估的间接节省，包括：

- 制造成本(需要安装的组件更少，与多个IC相比，需要的测试更少)
- 提高了质量(减少了焊点和预测试的子系统)

图15：与应用相关的基本构件



- 简化了物流(减少了零部件数量，也减少了采购、订货、储存和跟踪工作)
- 更快的产品上市速度(预先设计的子系统和软件变更，可满足新的最后的应用需求)

当所有这些元件都降低了系统成本时，对集成电路和围绕集成电路的机电一体化系统进行的集成便有了意义。除了纯粹的成本推动外，还有一些应用的空间非常有限，需要高度集成的IC，因此进行集成的价值是固有的。能够将所有必需的基本构件(包括强大的高压功能模块)集成到单芯片，并将LIN接口、Vreg和MCU添加到一个单一的20 mA RGB LED以实现环境照明，开启了新应用的大门。

功耗

电流消耗和能耗对于汽车燃油消耗、续航里程、二氧化碳排放量等至关重要。随着每辆车的节点数的不断增加，电流消耗和能耗的重要性也在增加。除了在第4节讨论的低功耗模式和循环监测技术，分布式执行器节点还实现了更智能的负载管理。例如，不使用电阻器而是通

过电子控制电机来控制风扇速度，减少了HVAC鼓风机功耗。

集成是最重要的设计工具之一，可满足现代汽车架构对机电一体化系统执行器和传感器节点不断增长的需求。同时，人们对计算性能和存储器的需求也在不断增加。需要带有高达256 KB闪存的高性能16位MCU才能满足这些应用需求。

4. 功耗

提高驾驶员的体验是汽车制造商的基本目标，这通常推动电气节点的增加，还会增加功耗。这种能源当然不是免费的，实际上，可能与燃油消耗直接相关：

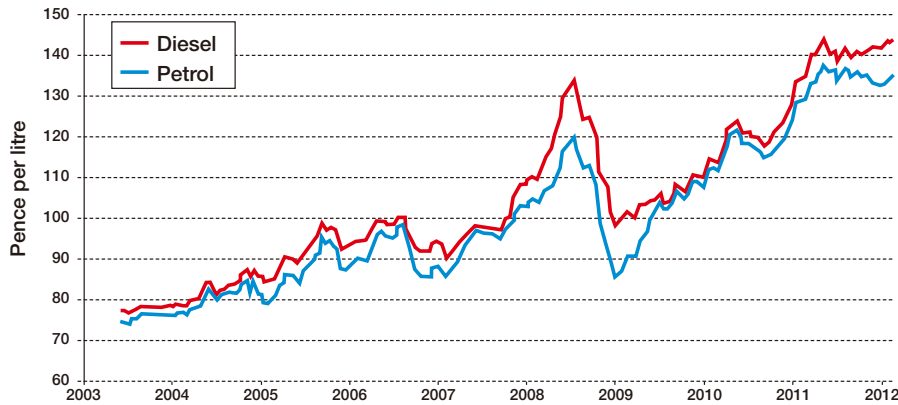
100W 电气功率 = 0.1 L / 100km

如果还考虑到汽车的重量：

50kg 重量 = 0.1 L / 100km

这两个因素都表明，为何要提高燃油效率，就需要最大限度地减少电能消耗和ECU的重量。考虑到其他因素，例如立法和扩大电动汽车的推广范围等愿望，功耗显然是现代汽车设计的一个重要方面。如图16所示，由于燃油成本的长期走势，汽车任何可以降低燃油消耗的方面都变得异常重要。

图16: 英国燃油价格



信息来源: 英国能源与气候变化部

图17: 到2020年的电力趋势

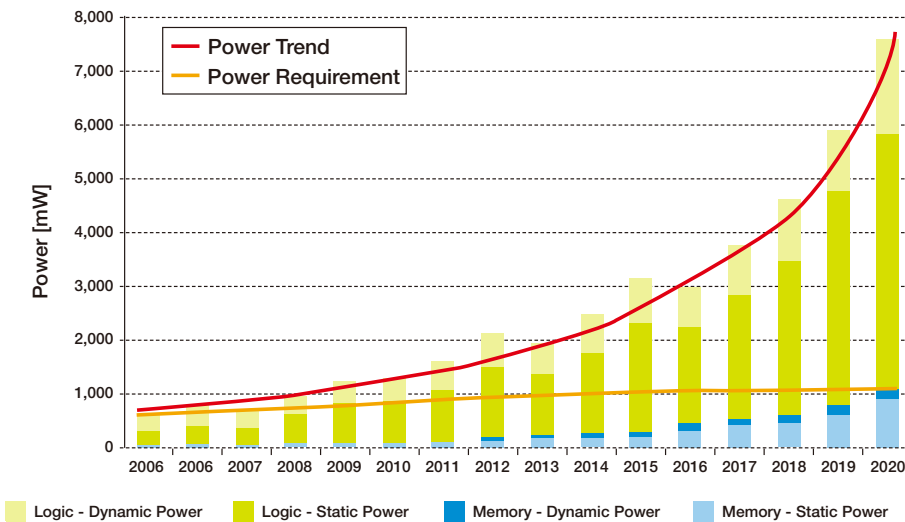
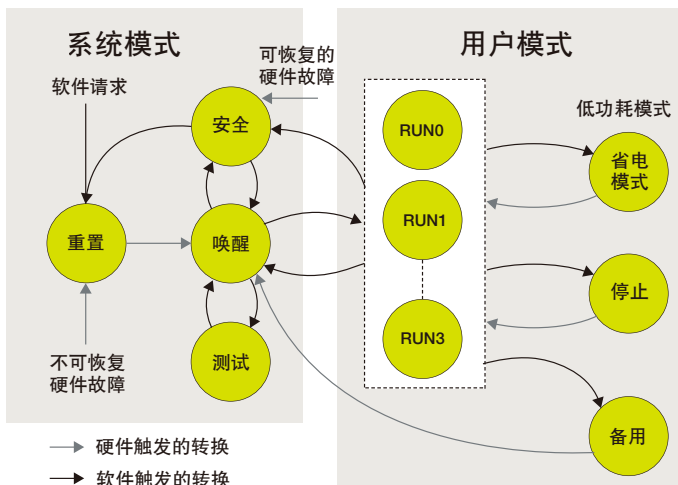

 信息来源: International Technology Roadmap for Semiconductors (<http://www.itrs.net/>)

图18: 各种工作模式实现最佳MCU功耗



新兴的低功耗架构

满足不断变化的汽车业的性能要求需要投资于未来技术,但这些技术会为系统设计人员带来许多挑战,包括应对功耗增加问题。

尽管每个技术步骤都有助于设备以更快的速度满足客户的期望,但它也需要一种创新的思维方式来解决功率危机。设计人员必须在更严格的功率预算内满足对更多功能、提高安全性和更快的性能以及区别于竞争对手的独特性、减少重量、降低成本的需求。图17反映了日益增加的对功率的需求。

转变思维方式

过去,系统的所有元件都活动并上电,以满足驱动器的需求。然而,许多电气节点增加了设计复杂性,从而大大增加了系统的功率需求。开始在该行业普及的基本原理包括:在任何特定的时刻只为绝对最少数量的节点供电。来自于部分联网、虚拟联网的技术以及完全分布式集成节点的超级节点发展势头正劲。MCU 和分布式集成传感器和执行器必须支持这些新兴协议,此外,还需具有独特的方法,以便在这个具有挑战性的领域进行竞争。

MCU和分布式集成传感器/执行器的电源模式

先前的MCU只包含两个基本状态:即ON或OFF。先进的MCU技术允许用多种工作模式解决功耗问题。如图18所示,如今的MCU工作模式包括:

RUN模式: 传统的全执行模式,通常是功耗最高的模式

HALT模式: 对所有MCU元件都供电,对主要元件进行了时钟门控

STOP模式: 对所有MCU元件都供电,只有子集在运行。

BYPASS模式: 只对少数子系统供电,对设备的主要部分进行电源门控测试等特殊模式

飞思卡尔首批将BYPASS等模式引入汽车领域的产品是 MPC564xB/C 系列的一部分。这展示了一种不同的思维方式来应对整个功耗降低生态系统，要求应用程序开发人员创建特殊的基于RAM的程序，以获得最低功耗。幸运的是，该行业已经直面挑战，使功耗再创新低，证明硬件架构设计人员和软件开发人员可密切合作，获得最佳成果。

新一代电源模式

尽管MPC564xB/C系列非常成功地满足了低功耗和其他系统要求，但飞思卡尔已经认识到现在应将解决方案提高到一个新水平。它与业界领先的合作伙伴和客户携手合作，推出了更先进的电源管理概念。主要举措包括四个方面：

1. 推出低功耗单元 (LPU)

LPU作为真正的产品差异化因素出现，并不总是要求完整的运行性能。它是激进的低功耗设备工作模式，允许较大部分电路被完全断电，同时支持处理器内核的所有执行功能。

2. 将模拟比较器和周期性定时器结合在一起

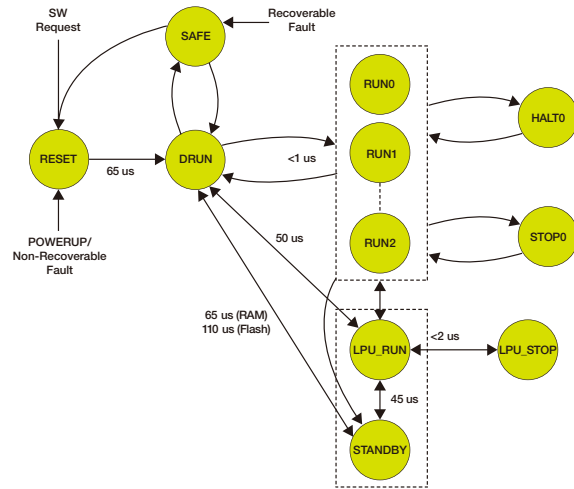
多个应用配置只需要定期对输入引脚进行采样。如果采用传统的方法，即使在MPC560xB/C/D MCU等器件上，也只能通过器件的RUN模式才能实现。然而，将多个模拟比较器和一个片上定时器进行智能互连后，在BYPASS模式下便可实现所有功能。这种革命性的方法可实现积极的低功耗。

3. 虚拟联网 (Pretended Networking)

虚拟联网(Pretended Networking)受到了汽车联盟的推动，相应地，飞思卡尔推出了LPU模式扩展，以遵从这一新兴标准。

4. 具有高可适应性的分布式集成传感器/执行器

图19: MPC5748G MCU的低功耗模式



这些是灵活的设备解决方案，提供了一些方法来分配计算性能，也有助于减少汽车的重量。(请参见前面的章节“机电一体化 - 二级集成”。)

低功耗单元(LPU)模式

LPU最初在MPC5748G MCU系列产品中推出，允许应用开发人员在多个新的以及传统的工作模式之间进行选择：

1. RUN
 - 完全支持最大速度/最大 Idd 模式
 - 对所有模块/flash 都上电，时钟可选
2. STOP
 - 主要外设的状态都被保留
 - LPU 外设的状态被保留
 - 内核(e200z2 & e200z4)通电，状态保留，但对其进行了时钟门控
3. LPU_RUN, LPU_STOP - 微型系统：
 - CAN0、LIN0、SPI0、10 位 ADC、定时器等
 - 降频运行模式
 - 主内核/平台/flash、锁相环 (PLL) 等都被电源门控关闭
 - 大部分SoC处于非活动状态

4. BYPASS

- 需要支持8K RAM，高达256K系统 RAM
- 还支持唤醒逻辑、应用编程接口 (API)/实时时钟 (RTC)、32KHx SXOSC、8 - 40 MHz FXOSC
- 模拟比较器子系统

图 19 显示了这些模式之间的关系。

通过创新的解决方案满足客户要求

典型的应用需要定期采样多个模拟输入。如图20所示，模拟比较器的推出及其可从独立的模拟参考运行这一独特的功能，提供了一个简单的实施方案。

实际上，对模拟输入进行定期监测，从而最大限度地减少电流消耗。深入采用这个创新方法，按照要求的采样频率，只在精确的时间对模拟电路供电，如图 21所示。

将这两种设计方法组合在一起可实现完全自主的解决方案，使电流消耗降低到 50 μ A，同时仍然保持一部分RAM。实现完全自主的解决方案的步骤包括：

图20: 使用模拟比较器对模拟输入进行定期采样

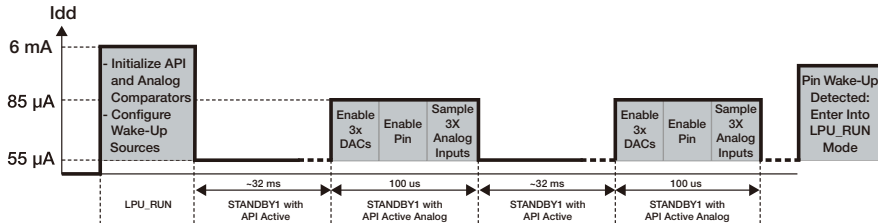


图21: 对模拟采样进行定期供电

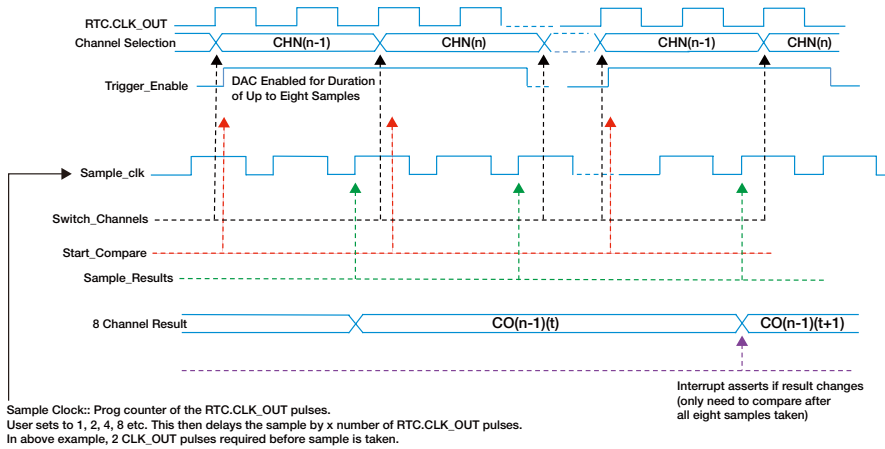
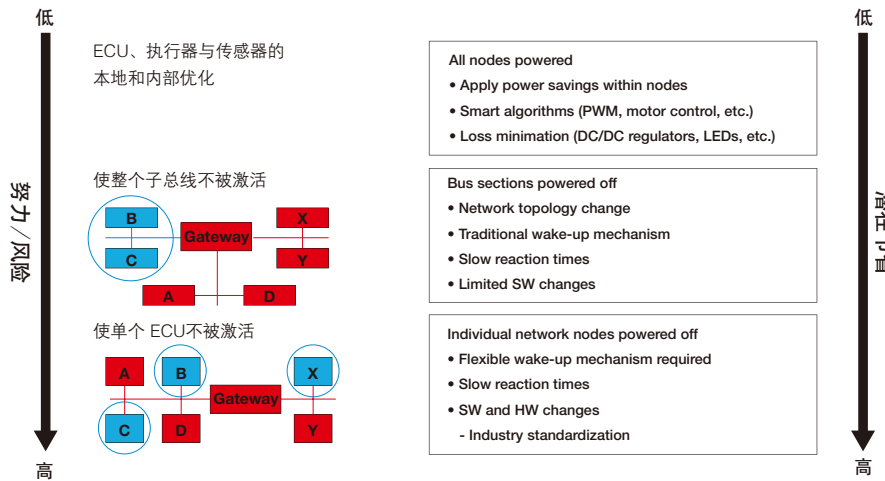


图22: 通过部分网络、虚拟网络和本地优化网络降低功耗的解决方案



- 配置 API 生成 200ms 唤醒输出
- 配置 API 为 1ms 周期 (RTC.CLK_OUT)
- 配置在 ANL 逻辑内读取输入
- 软件进入低功耗备用模式
- API 自由运行
- 在 200 ms 后, API 向比较器发出“触发启用”
- 读取所有输入
- 如出现不同, 则唤醒其他, 再等待 200ms 的时间间隔

部分联网和虚拟联网

过去, 整个汽车网络都将上电并运行, 但有许多示例表明并不需要如此。例如, 在行驶过程中, 可限制座椅移动等功能。在这种情况下, 部分联网允许完全关闭在网络上独立于其他 ECU 的 ECU。图 22 的最底层显示了这个方法。还有其他网络解决方案来减少此类功耗, 具体取决于网络拓扑。

在虚拟网络方法中, 网络节点单元判定其活动程度的显著下降。在做出这个决定后, ECU 将自己处于低功耗状态, 但假装它仍处于网络在线激活状态。当需要改变为相应的状态时, 节点会在网络内快速重新建立自己。

为了支持此类网络解决方案, 飞思卡尔已经增强了 CAN 模块, 使之根据 AUTOSAR 标准的新兴而高效地工作。这包括:

- 将 CAN 模块引入到 MPC5748G 系列的 LPU 中
 - 提供选项, 在收到有效消息时唤醒 LPU 或整个系统
 - 允许设备的大部分完全断电
- 增强了 FlexCAN ID 过滤方案(按精确的 ID 进行匹配), 包括:
 - 硬件 (HW) ID 范围过滤
 - 按大于或等于目标的 ID 进行匹配
 - 按小于或等于目标的 ID 进行匹配
 - 消息 ID 和有效载荷过滤
 - 精确的 ID 和有效载荷
 - 精确的 ID 和不同的有效载荷
 - 消息发生过滤
 - 特定的 ID 消息匹配发生 X 次
 - 在规定的时段内错过的特定 ID 消息

5. 功能安全

由于会直接影响人员安全，电子安全系统正面临日益严格的要求。如何设计车内系统使其能符合功能安全标准要求是一个巨大挑战，特别是在日渐增加的应用复杂性以及产品上市时间的紧迫性的双重压力之下。电子系统面临的挑战是构建的系统需要能够防止危险故障的发生或至少在出现故障时能够有效地进行控制。传统上，功能安全标准已应用于车辆安全系统，如安全气囊或先进驾驶辅助系统(ADAS)。然而很显然如果发生了故障，车周围的许多节点都会对人员的安全造成重大的影响，因此，现在这些标准正在扩充至车辆整体各个部分。

ISO26262是从IEC61508标准派生而来，针对道路乘用车车辆内的电气/电子系统。该标准应对架构、功能和程序方面的问题，包括汽车安全生命周期，以避免并控制系统错误以及随机硬件故障。

用此标准中的话来讲，功能安全是要“避免由E/E系统功能故障导致的危害所带来的不合理的危险”，其中危害被定义为“伤害的潜在来源”，伤害被定义为“对人身健康有形的伤害或损害”。故障是对安全的最大损害：

- 系统故障：“与某个特定原因有绝对性关联的故障，只有通过改变设计、生产过程、运作程序、文档或其他相关因素的变化才能被消灭。”
- 随机硬件故障：“可能在硬件元件生命周期中发生的不可预知的故障以及遵循概率分布的故障。”

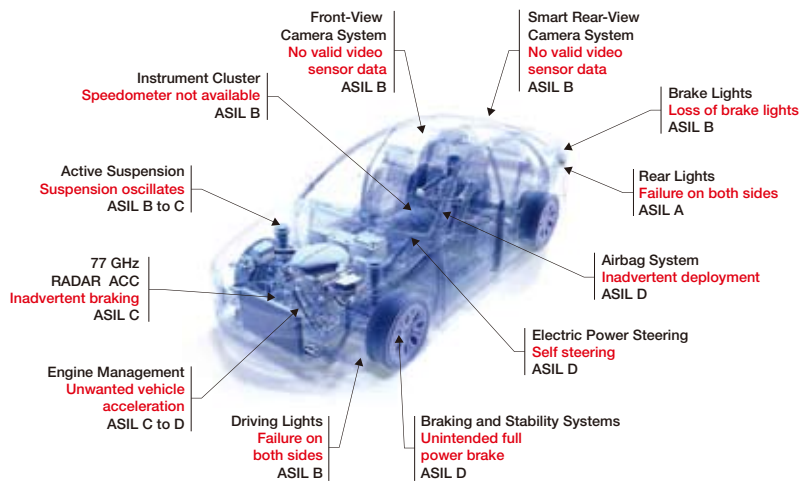
ISO 26262指定了四个ASIL等级(A至D)以确定标准的必要要求以及用于避免不合理残余风险的安全措施，其中D表示最严格的安全等级，A表示最宽松的安全等级。通过考量任务数据中系统故障可能导致伤害的那部分(即出现概率)；驾驶员应付系统故障并避免伤害的能力(即可控性)；

表3: 明确了应用功能适用的ASIL等级

严重性等级	操作情况的出现 概率等级	可控性等级		
		C1 (简单)	C2 (一般)	C3 (困难、无法控制)
S1(轻度与中度伤害)	E1 (非常低)	QM	QM	QM
	E2 (低)	QM	QM	QM
	E3 (中等)	QM	QM	A
	E4 (高)	QM	A	B
S2(危及生命的严重的 损害, 有可能生还)	E1 (非常低)	QM	QM	QM
	E2 (低)	QM	QM	A
	E3 (中等)	QM	A	B
S2(危及生命的伤害, 致命的伤害)	E4 (高)	A	B	C
	E1 (非常低)	QM	QM	A
	E2 (低)	QM	A	B
	E3 (中等)	A	B	C
	E4 (高)	B	C	D

(QM即“质量已得到管理”(quality managed) - 标准中没有规定明确可适用的要求)

图23: 汽车原始设备制造商(OEM)和一级供应商就相应的ASIL评级达成的框架共识



以及可控性操作失败会导致的人身后果(即严重程度)这三点，进行车辆层面的危险分析和风险评估，确定适当的ASIL等级。表3列出了相对应的可控性、严重性和故障概率。图23列出了多个汽车系统的ASIL等级。

虽然ASIL评级系统适用于系统层面而非器件层面，但是微控制器(MCU)对评级的认定起到了一个关键的作用。飞思卡尔已经开发出许多创新的底盘和动力总成微控制器(MCU)，现已被车身电子产

品所采用。传统上会使用包括关键要素的冗余在内的基于锁步(lock-step)的双计算核心架构来达到最高的ASIL等级。ASIL-A装置不需要第二个内核。然而，对于像MPC5748G微控制器(MCU)这样不用锁步模式复制第二个内核的ASIL-B设备，可以采用另一种替代方法。相关的安全功能可以以不同频率在两个内核上运行，实现暂时的去耦，同时允许另一内核上的多样性执行。

表4：为ASIL-A微控制器(MCU)与ASIL-B微控制器(MCU)之前的对比

安全措施	功能	ASIL-A 微控制器	ASIL-B微控制器
执行多样性	计算资源	单核	非对称非锁步核
	随机存储器	单一阵列	不同功率域内的多随机存储器(RAM)阵列
	通讯	大多数通信模块的单一实例化	通信模块的多个实例化
监视器单元	时钟监视器	是	是
	电压监测仪	低电压监视器	高低电压监视器
	故障采集/控制	分散式	综合式
错误侦察和改正	终端到终端总线传输错误检查和纠正	否	是
	SRAM和闪存错误检查和纠正	是(单错校正双错检测)	是(单错校正双错检测)
	随机存储器列多路复用	否	是
	闪存边缘读取	是	是
	稳定传感器	是	是
潜在故障侦察	逻辑测试	用户软件	L-BIST
	记忆测试	用户软件	M-BIST
操作干扰保护	注册保护	是	是
	记忆接入保护	否	系统微处理器
	循环冗余码校验	软件	硬件
	看门狗	COP	窗口看门狗
闪存接入保护	防止意外未授权的写访问	防止意外未授权的写访问	防止意外未授权的写访问
	闪存接入保护	防止意外未授权的写访问	防止意外未授权的写访问
可靠性技术		带闪存和超高压高压模拟的180 nm 互补金属氧化物半导体 (CMOS)	带闪存的55 nm互补金属氧化物半导体 (CMOS)

微控制器(MCU)内置功能安全的功能重点在于检测并减少随机硬件故障——单点故障、隐形故障和从属故障。检测故障的目标百分比会根据不同的ASIL等级逐级增加：A级为60%、B级为90%、C级为97%、D级为99%。

考虑到预期的应用程序、具体的技术属性和设计特点，表4显示了ASIL-A等级的S12ZVL/S12ZVC微控制器(MCU)上和ASIL-B等级的MPC5748G微控制器(MCU)上应用的内置的功能安全功能之间的比较。

功能安全不仅仅只涉及到微控制器(MCU)的硬件功能。安全要求陈述了将会作为软件设计及硬件设计一部分进行执行的与安全有关的细节，正是这种软件设计和硬件设计的结合提供了一个功能安全系统。经过考量周到的设计，

ASIL-D系统可以由QM产品开发出来，但是反之亦是如此，ASIL-D级产品可以被不慎设计导致永远不会达到ASIL等级系统中去。将功能安全应用于微控制器(MCU)的开发涵盖了严格遵守ISO 26262规定的过程、使用经过验证的可靠软件以及支持允许系统开发工程师使用设备硬件功能以实现所需的系统层面的安全完整性。

飞思卡尔SafeAssure功能安全计划正是提供了这种支持。SafeAssure产品可以帮助简化系统级功能安全设计并实现符合标准，同时提供了一套丰富的产品安全资料以便于故障分析以及硬件和软件集成。此外，SafeAssure产品提供了清晰的支持界面，来帮助确保飞思卡尔可以在系统设计和合规性流程的每个阶段都能满足客户的需要。

6. 安防

随着诸如增强系统安全性这样的趋势，一股强大的力量推动着汽车半导体安防功能的进化。新的MPC5748G系列产品凭借新型安全引擎、硬件安全模块(HSM)和其他安全模块支持这些客户的安防需求。在讨论这些模块之前，安全通信和安全闪存这两个用例展现了对安防功能的需要。

安全通信

正如前面所强调的，安防是一个非常重要的趋势并且安防性是建立一个安全系统所需要的。出于这个原因，许多汽车原始设备制造商(OEM)已经开始凭借加密算法保护与安全相关的CAN报文的。一些厂商将消息体整体进行编码，而另一些厂商则采用基于密码的消息认证码(CMAC)值来防止信息的篡改。基于密码的消息认证码(CMAC)就像安全校验一样运行，只有安全密钥的所有者能够产生正确的CMAC值。CMAC为此过程识别通信伙伴。图24显示了这三种微控制器之间安全数据的交换。

在这个例子中，左上角的MPC5748G微控制器(MCU)能够将安全消息发送至右上角的MPC564xB/C和左下角的S12 MagniV设备。两个通信组被创建：蓝色和红色以及共享相同加密密钥的各组中的节点。没有别的控制器局域网(CAN)节点能够使用有效的CMAC值将控制器局域网(CAN)消息发送至这些节点中的一个。在MPC5748G MCU中，由硬件安全模块(HSM)管理的密钥可以承担诸如发送消息本身这样的额外任务。对于S12 MagniV S12ZVC微控制器(MCU)，实现闪存记忆和调试保护是有可能的。这显著降低了从设备中导出加密密钥的可能性。

安全闪存

安全闪存与之前的用例非常类似。在这种情况下，MPC5748G 微控制器 (MCU) 在以太网上接收多个子节点的固件并将正确的固件分配给它们。基于在硬件安全模块(HSM)上的软件中实施的公共密钥算法，与OEM服务器的安全通信通过硬件安全模块(HSM)被建立。接着针对真正的固件下载和任务分配，高级加密标准(AES)-128块被用来提高性能。

新型安防结构

MPC5748G 微控制器(MCU)具有一套完整的用户可配置的安防功能，旨在保护代码和数据以免遭到未经授权的访问。

安防功能包括：

- 基于生命周期模型的设备审查
- 内存安全保护功能：
 - 支持非易失性存储器 (NVM) 审查、密码保护、一次性可编程 (OTP)、闪存区、闪存擦除计数器和篡改检测
 - 复位后初始化为一个恒定值的 SRAM 和缓存
- 为每个移动设备配备唯一 ID
- 安全看门狗定时器
- 基本调试器限制 (通过审查模式开/关) 以及安全调试器接口
- 可信/安全启动支持
- 硬件安全模块

三种主要的安防模块及其功能如下：

- 密码和设备的安全模块 (PASS) 接收密码挑战并确定其有效性。它也保持了设备的安全性及访问状态。
- 篡改检测模块 (TDM) 提供了一种闪存记忆读写保护机制。该机制促使软件在模块被擦除之前编写一项记录，此记录与篡改检测区域 (TDR) 中的一个或多个模块相关联的。

图24：使用CMAC在微控制器之间发送安全信息

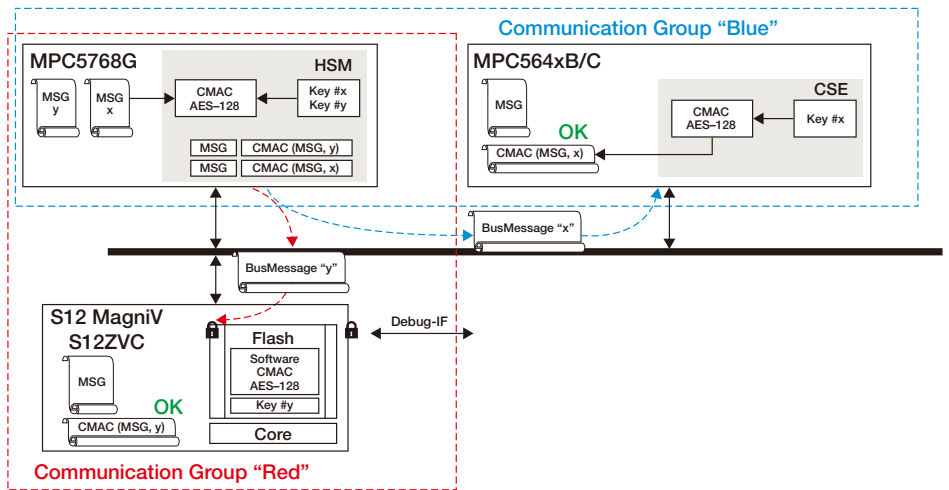


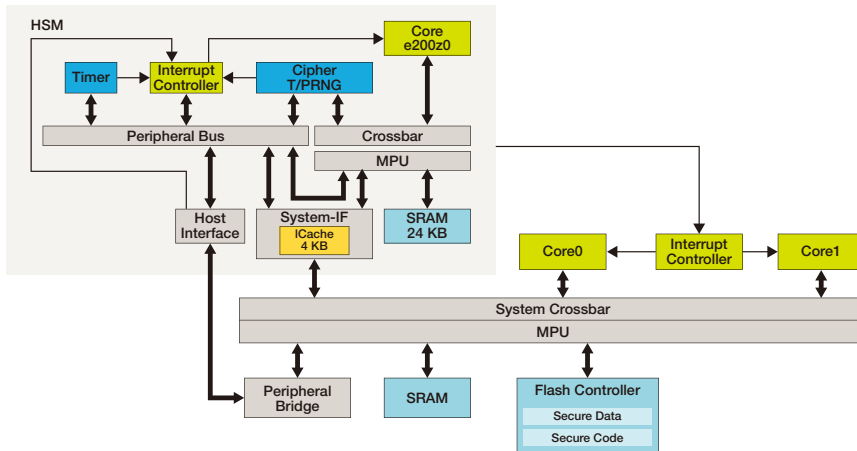
图25：在MCU中执行日益提高的安全性

高安全性	篡改检测模块 (TDM)	禁用工厂测试模式 使客户能够禁止将设备能力置于工厂测试模式 一次性可编程 (OTP) 闪存 将任何闪存块作为一次性可编程 (OTP) 进行配置，所以它只能进行一次编程 可配置的篡改检测 作为擦除计数器进行篡改检测	旨在为代码和数据提供保护，使之免遭意外变化
	密码和设备安全模块 (PASS)	调试禁用 覆盖所有其他的控制调试，并禁用调试接口。 调试禁用功能比检查、JTAG密码和安全调试中拥有更高的优先级 确保硬件安全模块 (HSM) 调试的安全 客户能够在硬件安全模块 (HSM) 上执行自己的系统保护方案和访问协议 (例如基于PK)，硬件安全模块 (HSM) 负责大型设备调试访问 JTAG密码 (256位密码) 安全读取保护 读取保护：组基 (代码、数据、安全码、安全的数据) 安全写保护 写保护单个模块基础：4 x 256bit的密码，需要更改 设备检查 (16位密码) 针对所有FSL微控制器的传统保护机制。对设备进行多次审查与不审查是可能的	
	平台	MPU微处理器	
	闪存存储器控制器	非安全写保护 必须明确针对闪存块选择擦除操作	
低安全性	闪存存储器	应用程序代码和数据	

- 硬件安全模块是第二代汽车安全模块。第一个模块MPC564xB/C中执行 HIS SHE V1.1规格的加密服务引擎 (CSE)。从顶层视图看硬件安全模块 (HSM)与CSE非常相似，但它提供了更多的性能及灵活性。它与加密服务引擎(CSE)的主要的区别为它是由客户自由编程的。
- 硬件安全模块(HSM)能够访问整个地址范围内的主要内核。此外，可以由硬件安全模块(HSM)直接控制并为外设模块提供服务。如果某个控制器局域网络 (CAN)或以太网的协议栈拥有安全通信协议栈的话，此举会很有用。

如图26中的方框图所示，硬件安全模块 (HSM)具有特有的针对数据和指令的核心和显存块。代码从只能通过硬件安全模块(HSM)访问的闪存区被执行。

图26: 硬件安全模块以及其它与其它微控制器块的连接



7. 结论

随着汽车舒适性、安全性、效率和消费电子功能水平的不断提高，汽车制造商和他们的电子产品供应商必须在电子产品的复杂性与功耗、重量之间取得平衡。

使用具有高集成度、高性能及广泛连接性的新型微控制器(MCU)产品，可减少组件和布线的整体数量，有助于减少汽车的重量，促进汽车的节能环保。此外，创新的低功耗模式有助于减少各个组件的电流消耗，并减少网络功耗。

在汽车应用中有上升势头的一项网络标准是以太网。飞思卡尔确信以太网将在高带宽汽车应用中被广泛采用，但不太可能取代现有的、特定的CAN、LIN、SENT和PSI5应用程序协议。

实现满足汽车要求的微控制器(MCU)解决方案，需要长期致力于汽车电子市场的专家们的创新设计。

飞思卡尔将通过以下的创新车身电子解决方案持续展现其汽车行业的领导地位：

- 针对集中网关和/或高端车身中控/域控制器应用的Qorivva MPC5748G 微控制器 (MCU) 系列产品
- 使用超级集成LL18UHV技术，针对智能传感器及执行器节点的S12 MagniV S12ZVL和S12ZVC微控制器 (MCU)

凭借由飞思卡尔开发的、符合ISO26262标准和SafeAssure计划的新型车身微控制器(MCU)，功能安全从汽车底盘和动力总成领域内的广泛应用，扩展至车身电子。最后，伴随着不断增长的内部和外部连接、网络流量的增加、车辆嵌入式存储容量的提高，人们对安防性有了更高的要求，而飞思卡尔的微控制器(MCU)提供值得信赖的、基于硬件的基础以帮助确保汽车系统的安防性。

了解更多，请访问：www.freescale.com

Freescale、Freescale标识和Qorivva是飞思卡尔半导体公司在美国专利商标局注册的商标。MagniV 和SafeAssure是飞思卡尔半导体公司的商标。所有其他产品或服务名称是其各自所有者的财产。Power Architecture和Power.org文字标记、Power和Power.org标识以及相关标志是由Power.org授权的商标和服务商标。© 2013年飞思卡尔半导体公司版权所有。

Document Number: BODYDELECTRWP REV 0