

# 跨界嵌入式处理器 —— 填补高性能与易用性之间的空白

## 概述

作为成千上万的智能物联网产品的核心，嵌入式处理器的独特之处在于其对功能和性能的精确定制。展望激动人心的未来互联世界，我们发现传统嵌入式处理器与千变万化的物联网需求之间存在的差距正在不断增大，人们需要处理器提供更低功耗、更经济的可扩展性，更强的计算性能、更高的安全性，以及更好的用户体验。为满足这一需求，我们需要突破应用处理器和MCU之间的界限，打造一类新的“跨界”嵌入式处理器。这种新型应用处理器采用了MCU内核，但基于应用处理器的架构方式，既能实现应用处理器的高性能和丰富功能，同时又兼具传统MCU的易用性和实时低功耗运行特性。本白皮书主要介绍这种跨界处理器的架构方式，以及它们提供的重要优势。

## 目录

- |                         |                |
|-------------------------|----------------|
| 1 应用处理器与MCU             | 5 相关行业和应用      |
| 2 “跨界”处理器—从性能差距到新解决方案领域 | 6 i.MX RT跨界处理器 |
| 3 降低成本—去除片内闪存           | 7 结论           |
| 4 集高性能、低延迟、高能效和安全性于一体   |                |



## 应用处理器与MCU

多年以来，嵌入式处理领域一直根据设计的需求分为两个不同的阵营。要求经济实惠和灵活实用的应用场合会依赖于MCU。超出MCU功能范围的设计会改为使用应用处理器。但是，对于嵌入式设计师而言，在MCU和应用处理器之间实现无缝扩展并非易事。在MCU和应用处理器之间做决定时，嵌入式设计师如今通常会遇到几个痛点，包括：

- 需要比MCU更多的功能（更高的性能、更多显示、更多连接选项），但不能增加成本或复杂性
- 缺少经验丰富的员工和/或预算资源，难以为基于Linux的应用处理器设计提供支持
- 既需要实时系统，也需要应用处理器级别的性能和集成度
- 必须为应用处理器的设计降低整体物料成本，同时保持性能水平不变

消费者对于提升智能，安全领域产品的用户体验以及功能的需求从未止步，这也推动了MCU和应用处理器的双双发展。但是，对于很多新兴的使用案例，不管是应用处理器还是MCU，都无法完全满足该情形的需求。这一问题的完美示例就是，一位设备设计师想要在其产品设计中添加物联网（IoT）功能（例如，数据处理、无线连接、显示支持），同时不能大幅增加单台设备的成本，也不能因为大范围的重新设计而大大延长其上市时间。

### “跨界”处理器—从性能空白到新解决方案领域

我们相信，更智能的互联世界的发展应当由创新推动，不应受限于MCU和应用处理器之间的选择。嵌入式产品设计师应能够自由选择最能为其设计带来创新的处理器，而不是让处理器的选择限制了其最终设计中可能实现的创新。在MCU和应用处理器之间灵活扩展是可行的，但需要采用一类新的跨界嵌入式处理器来打破高端MCU和低端应用处理器之间的技术鸿沟。这些跨界嵌入式处理器主要面向消费者、工业和不断发展的物联网应用，能够为设计提供应用处理器的高性能和功能性，同时兼具MCU的易用性、低功耗、实时运行以及低中断延迟特性。此外，跨界处理器的架构中无需使用嵌入式闪存、外部DDR存储器和电源管理IC，因此降低了系统的总体成本。



图1：跨界领域

跨界处理器使用应用处理器架构，提供高集成度、高速外设、更高的安全性以及可提升用户体验的引擎（例如，2D/3D显卡），但仅通过运行实时操作系统（例如RTOS）的低功耗MCU内核为系统提供动力。因此，跨界处理在市场中界定了一块全新的急需领域，能够帮助MCU客户升级到应用处理器级别的性能，同时沿用当前的工具链，而且可能不需要花时间和成本将复杂的Linux（或其他更高级别的操作系统）软件开发纳入其产品设计周期。

## 降低成本—无需片内闪存

在理想环境中，当可执行代码和数据被存储在片内SRAM中，并从此存储中执行CPU内核操作时，嵌入式处理器的性能达到最高。即便在片内SRAM中，也只有“紧耦合内存”（TCM）能够为内核提供单周期访问。对TCM以外任何存储器的访问都会增加所需的CPU时钟周期，从2级缓存到片内闪存再到外部闪存的访问损耗越来越大。因此，只有由高密度片内SRAM配置而成的TCM才能提供理论上最高的性能。

但在现实中，集成SRAM的每平方毫米成本非常高昂，对于在更加成熟的工艺技术节点上制造的MCU来说，更是如此。因此，嵌入式闪存成为了MCU的所需组件，作为片内SRAM的补充。MCU中的嵌入式闪存被用于存储可执行程序 and 重要的用户/系统数据，以便内核快速访问这些内容，而无需从外部存储器获取。

但是，我们认为，在满足MCU和应用处理器之间的客户需求时，片上嵌入式闪存的技术限制和相关的成本成为了一个很大的负担。嵌入式闪存价格昂贵且富有挑战性，对于高级工艺技术节点而言尤其如此。嵌入闪存所需的额外处理会大幅提升芯片的成本。摆脱片上闪存的负担不但能够降低成本，还有助于实现更高频率的运行，从而提升处理器性能，进而让产品设计师能够提升性能，提高效率并增加更多功能。

由于跨界处理器采用了应用处理器架构，它们能够在高级技术节点（40nm和更高水平）上制造，具有大幅缩小的SRAM位单元，使得集成高密度SRAM比嵌入闪存更加经济高效。在跨界设计架构中，SRAM可以配置为具有“零等待”单周期访问的TCM，从而大幅提升系统性能。凭借这种关键设计特性，跨界处理器的有效性能将远远超出MCU同等产品。

## 集高性能、低延迟、高能效和安全性于一体

### 高性能

想象一下TCM和缓存（片内SRAM）极小，但嵌入式闪存密度极高的典型MCU。执行应用代码期间，最近的指令和数据通常都被存储在TCM/缓存中，以便后续从CPU内核快速访问。但是，由于缓存密度低，大部分指令和数据都必须存储在嵌入式闪存或者外部NOR或NAND闪存中。因此，CPU内核不得不访问非TCM或非缓存存储器（也称为“缓存未命中率”），每次访问都会大幅降低有效性能，因为CPU必须等待数十个周期以待数据抵达。因此，缓存未命中率越高，MCU的有效性能越低。

对于合理架构、具备高密度TCM和缓存的跨界嵌入式处理器而言，即使缓存未命中率达5%，其有效性能也始终高于MCU。（缓存未命中率5%可以理解为，CPU内核在缓存存储器中寻找所需指令或数据的尝试中，平均每20次中失败1次，需要访问嵌入式闪存或外部闪存。）但是，对于最为常见的物联网应用，具备高密度片内TCM或缓存的跨界处理器的缓存未命中率可低至1-2%，因此能够提供明显高于MCU的有效性能。

## 低中断延迟

在协调对内部和外部硬件事件做出及时响应方面，中断在嵌入式系统中发挥了重要作用。在与用户交互的实时系统中，它们发挥的作用尤其重要，这是因为由用户输入触发的外部事件需要CPU做出可靠的低延迟即时响应。试想一下，具备用户输入的视频流物联网应用或恒温器设备，如果系统不能实时对用户输入做出响应，用户体验将大打折扣，甚至用户可能会认为产品无响应。因此，中断响应时间是跨界处理器应用的一个关键特性。

中断延迟这个词指的是CPU响应内部或外部事件的中断请求时所需的时钟周期数。对于大部分具有实时响应要求的物联网应用，中断延迟成为了衡量有效性能的一个非常重要的指标。

对于运行高级别操作系统（非实时操作系统）的通用应用处理器，服务外部中断并非首要任务。在完成当前的任务之前，CPU通常不会响应中断服务例程（ISR）请求。这就导致在提出中断请求之后，需要经过多达数百个延迟周期，内核才会开始服务此请求。对于运行实时操作系统、内核优先响应中断的MCU而言，就不会出现这种情况。即使在不同中断之间，也可以通过合理安排优先级结构，确保最高优先级的中断达到最低的中断延迟。

跨界处理器采用MCU内核构建，因此即使它们采用应用处理器架构，也延续了低中断延迟这一重要特性。跨界处理器的中断延迟最低可达到10-20ns，而应用处理器的延迟通常长达1毫秒。因此，跨界处理器最适合物联网应用。

## 高能效

跨界嵌入式处理器集成了高性能DC-DC转换器，并采用行之有效的门控电源技术来优化能效。事实上，凭借目前嵌入式处理器广泛使用的40nm处理平台，跨界处理器的运行功率最低能够达到100uA/MHz，不到目前处于市场领先地位的MCU的一半。对于如今市场上未集成DC-DC转换器的很多MCU，或者当系统设计出于成本考虑未使用外部DC-DC转换器或PMIC时，其电流消耗最高会达到300uA/MHz，导致它们不太适合采用电池供电的应用。

对于MCU，嵌入式闪存相比访问外部存储器的优势之一是可以实现更低的动态功耗。这在意料之中，因为访问外部存储器时，数据必须通过电容I/O驱动，处理器因此需要耗费更多能量。但正如之前所述，在跨界处理器中，因为高密度片内SRAM的原因，对外部闪存的访问很有限。此外，跨界处理器采用先进技术节点和低功率处理平台构建，并与低功耗SRAM集成，因此与传统MCU相比，能够降低整体的动态功耗。

再者，存储器制造商目前以极低的成本提供超低功耗的串行NOR闪存，从而降低了系统级别的功耗。如果将采用低功耗串行闪存的跨界嵌入式处理器封装到SiP，能效可进一步得到提升，因为I/O引脚的电容负载较低。如果SiP成本对某些应用能够合理化（考虑SiP提供的外形尺寸优势），那么兼具跨界处理功能和额外存储器的解决方案将非常具有吸引力。

## 安全性

存储在嵌入式闪存中的数据可靠而安全，这通常被援引为在处理器设计中采用嵌入式闪存的原因。片内存储的关键数据和敏感应用程序可即时获取，无需通过外部引脚与芯片之间来回传输。只要与芯片之间来回传输数据，就会给黑客提供攻击的机会（旁路攻击），让他们可以通过监控数据引脚中的电信号来拦截或破坏数据。如果数据未加密（以“明文”传输的数据），这一弱点尤其令人担忧。

然而，使用跨界嵌入式处理器则没有这种隐忧，因为它们采用了与应用处理器类似的数据保护架构。跨界处理器解决方案采用硬件加速加密模块，使数据能够以加密的格式存储在外部存储器中。需要时，加密数据被传输至芯片，在读取时“即时”解密，无需经过等待解密的周期。跨界处理器中的这些高级加密加速器能够大幅提高加密/解密吞吐量，从而无需使用片内非易失存储器来满足安全性的需求。

即使在硬件加密不适用的情况下，跨界处理器的高性能内核也可用来实施软件加密。相比传统MCU，这是一个明显的优势；MCU内核的性能较低，必须通过采用硬件加密模块来提供物联网应用所需的加密吞吐量。

基于半导体行业在开发先进存储器方面取得的进展，我们预测在未来两到三年内，非易失性存储器（例如MRAM、RRAM等）似乎可用于与嵌入式处理器集成。它们易于单片集成，可功能多样（包括替换片内2/3级缓存），具有即开即用的用户体验，可用于片内安全数据库，或替代传统嵌入式闪存。跨界处理器有望从同过集成这些新兴存储器，从而发挥更大优势。

## 相关行业和应用程序

作为高性能与易用性特性的有效融合，跨界解决方案适合一系列特定的应用，在此之前，这些应用的某些功能通过应用处理器和MCU产品都无法得到满足。跨界处理器能大展拳脚的一些应用包括（但不限于）：

- 用于高端、消费性音频设备的**音频子系统**设计，包括吉他音效踏板等专用设备。
- 面向大众市场应用的**通用嵌入式**设计，例如测量系统、医疗设备、售货机以及物联网网关。
- **人机界面 (HMI)** 图形功能，适用于家居和楼宇自动化（例如HVAC温度控制、安保、照明控制面板）、工业计算设计（例如EBS、PLC、工厂自动化、测试和测量、M2M、HMI控制、装配线机器人）以及消费类产品（例如智能家电、摄像机、LCD及其他高端显示屏）。
- **电动机控制和电源转换**，适用于3D打印机、热敏打印机、无人机等专业设备，以及机器人真空吸尘器等消费类产品。

## i.MX RT跨界处理器

凭借数十年来为消费者、工业和物联网市场提供MCU和应用处理器的领导经验，恩智浦开发出了全新嵌入式处理器系列——i.MX RT跨界系列处理器。新型的i.MX RT跨界系列处理器基于ARM® Cortex®-M7内核，采用了i.MX 6ULL应用处理器架构，囊括了上文提到的跨界处理器的所有特性，提供了市场上首款真正能够填补MCU和应用处理器之间空白的解决方案。它把应用处理器级别的性能带到了MCU领域，能够支持实时、高性能处理功能，例如摄像头和显示功能。

## 高性能、实时处理

i.MX RT系列的内核运行速度可达600 MHz (相比之下, 现有MCU的最高速度只有400MHz)。这是目前具有最高性能水平的Cortex-M7解决方案, 可提供3015 CoreMark®/1284 DMIPS (> 2 DMIPS/MHz)。

得益于高密度的512KB TCM SRAM, i.MX RT系列还能够实现超快的实时响应。其中断延迟低至20纳秒, 在全世界所有基于ARM Cortex的产品中, 这是最短的中断延迟, 这都归功于高性能和Cortex-M7内核的强强组合。总而言之, i.MX RT跨界处理器的性能可达竞争产品的2倍。

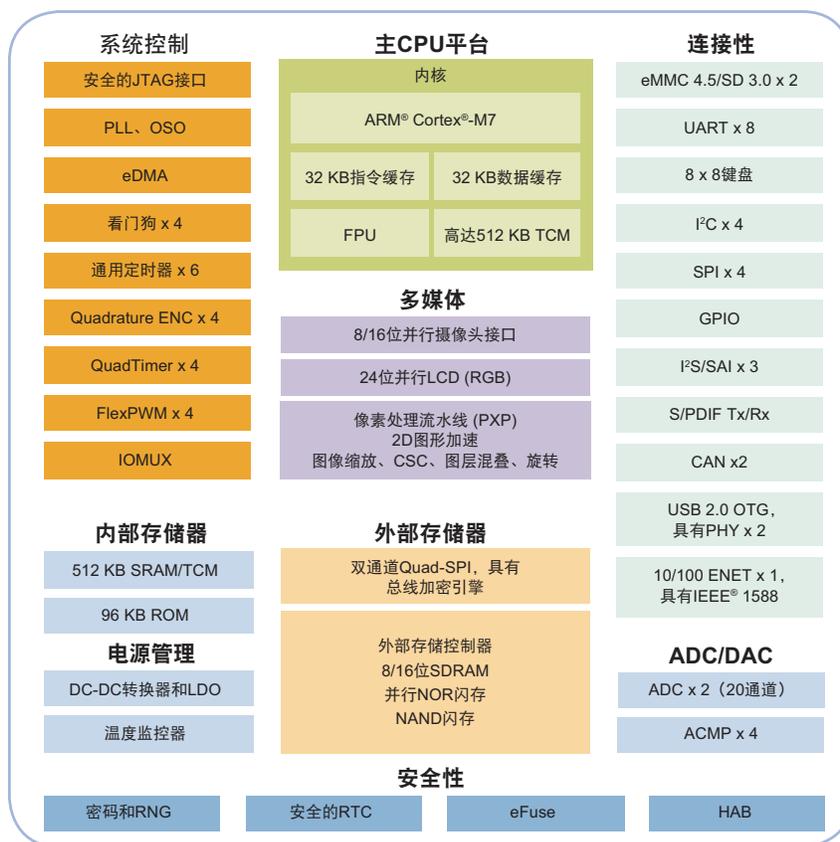


图2: i.MX RT1050功能框图

i.MX RT系列不仅具备应用处理器级别的性能, 它们还提供基于MCU的产品设计空间里所具备的关键可用性特性: 易用性、低成本以及与现有实时软件基础设施和工具链的兼容性。

## 丰富的集成

i.MX RT系列支持包含高级多媒体的产品设计, 以实现GUI和增强型人机界面 (HMI) 体验。其特性包括高级2D图形加速引擎、LCD显示屏控制器、摄像头接口以及提供高性能、多通道音频流的音频接口。

正如上文所述, i.MX RT跨界处理器系列还通过广泛的外部存储器接口选项 (包括NAND、eMMC、QuadSPI NOR闪存和并行NOR闪存) 支持更大的设计灵活性。由于在外部存储器之间使用高速接口, 加之即时解密可实现安全的外部数据存储, 因此无需使用嵌入式闪存。

就连接性而言, i.MX RT跨界处理器支持有线 (以太网、USB等) 和无线标准, 例如Wi-Fi®、Bluetooth®、BLE、Zigbee®、Thread™以及其他选项, 让互联世界数以千计的应用成为可能。

## 使用简便

i.MX RT系列旨在让基于MCU的开发人员能够轻松使用这些新型跨界处理器, 而无需投入大量精力来开发新软件实现工具或学习更高级别的操作系统, 例如Linux或Android。现有的MCU客户能够利用i.MX RT系列大幅提升性能功能, 同时继续使用他们现有的工具链(例如MCUXpresso、IAR和Keil)。

i.MX RT还支持使用恩智浦的FreeRTOS、SDK、ARM® mbed™以及提供软件库、在线工具和相应支持的全球ARM生态系统来实现快速原型制作和开发。使用与Arduino™硬件底板兼容的低成本评估套件(EVK), 还可以进一步加快开发速度。

此外, i.MX RT解决方案还采用单电压输入来简化电路设计。

## 低物料 (BOM) 成本

通过将最高的功能性与行业领先的性能和能效相结合, i.MX RT系列还可为基于Cortex-M7的嵌入式系统提供最低的成本。它采用经济实惠的10x10 BGA封装, 间距为0.65mm, 可实现低成本的四层PCB设计。

基于Cortex-M7内核构建也使其无需昂贵的配套器件。例如, 有了具有DC-DC转换器的全集成电源管理功能, 无需再配备外部电源。512 KB片内SRAM意味着无需使用外部DRAM, 从而进一步降低总物料成本。

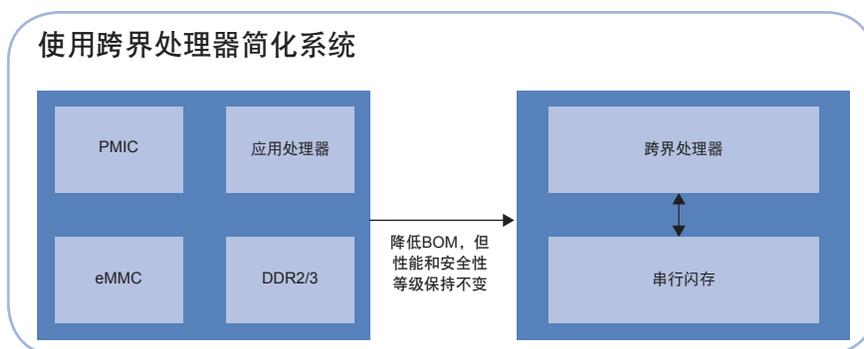


图3: BOM框图

## 软件支持

当前基于MCU的开发人员可以继续使用现有的软件基础来开发基于i.MX RT的产品。但是, 在转变到采用不使用Linux代码的处理解决方案来构建系统, 应用处理器领域的开发人员将抱持一些疑问。但是在转变到不使用Linux代码的解决方案的开发过程当中, 这也会给应用处理器领域的开发者带来困惑。

i.MX RT处理器运行RTOS软件, 而应用处理器需要基于Linux的软件。这要求基于应用处理器的开发人员学习更多与使用实时操作系统构建系统有关的知识, 但这种付出是值得的, 因为他们可以接触到一个广阔的市场领域, 该领域的产品要求以更低的成本提供高性能和增强的用户体验。

## 结论

当今市场越来越需要高效、高性能的嵌入式处理技术来提供增强的用户体验和更高的数据处理能力, 同时不增加成本和功耗, 这就导致嵌入式处理器领域内出现了空白。为了填补这种空白, 我们推出了一种新型嵌入式处理器, 它们具备应用处理器典型的性能等级和安全功能, 同时兼具MCU的易用性、实时运行和低功耗特性。我们借助这些跨界处理器来响应日益发展的市场需求, 旨在为更加智能、安全且不断发展的互联市场提供具备最高性能且经济高效的嵌入式解决方案。

## Learn More:

Home Page: [www.nxp.com](http://www.nxp.com)  
i.MX RT Series: [www.nxp.com/iMXRT](http://www.nxp.com/iMXRT)  
Web Support: [www.nxp.com/support](http://www.nxp.com/support)

## How to Reach Us:

### USA/Europe or Locations Not Listed:

NXP Semiconductors  
Technical Information Center, EL516  
2100 East Elliot Road  
Tempe, Arizona 85284  
+1-800-521-6274 or +1-480-768-2130  
[www.nxp.com/support](http://www.nxp.com/support)

### Europe, Middle East, and Africa:

NXP Halbleiter Deutschland GmbH  
Technical Information Center  
Schatzbogen 7  
81829 Muenchen, Germany  
+44 1296 380 456 (English)  
+46 8 52200080 (English)  
+49 89 92103 559 (German)  
+33 1 69 35 48 48 (French)  
[www.nxp.com/support](http://www.nxp.com/support)

### Japan:

NXP Semiconductors  
ARCO Tower 15F  
1-8-1, Shimo-Meguro, Meguro-ku,  
Tokyo 153-0064, Japan  
0120 191014 or +81 3 5437 9125  
[support.japan@nxp.com](mailto:support.japan@nxp.com)

### Asia/Pacific:

NXP Semiconductors  
Hong Kong Ltd.  
Technical Information Center  
2 Dai King Street  
Tai Po Industrial Estate  
Tai Po, N.T., Hong Kong  
+800 2666 8080  
[support.asia@nxp.com](mailto:support.asia@nxp.com)

[www.nxp.com/crossoverprocessors](http://www.nxp.com/crossoverprocessors)