

在最大限度降低能耗的同时， 树立 MCU 性能新标准



Dave Smith
德州仪器 (TI) 产品
营销工程师

Evan Wakefield
德州仪器 (TI) 新产品应用
工程师

随着现在和未来的产品变得越来越智能，我们发现需要处理的数据也日益增多。为了收集这些数据，我们部署了传感器网络来记录多个位置的事件，并为众多用例从不同的数据源收集许多不同类型的数据。

通过检测门窗打开等事件，家庭安防传感器能够为居民们带来安全感。工业泵上的传感器发出的数据可以帮助工厂所有者及早检测到警示信号，从而防止出现故障并降低随着

时间的推移而产生的维护成本。来自基于分布式网络的传感器网络的数据甚至可以用来应对地质事件，让应急人员有更多的时间采取行动。在大多数情况下，必须将系统中记录的这类数据发送给中央节点，用于处理、分析和制定决策。要维持这个恒定的数据流，需要耗费大量的能源和时间。通过加入局部智能功能将单个传感器转换为智能传感器节点，便可借助更先进的局部处理或边缘处理技术缩短整个系统的响应时间，提高效率。

也可以将在系统边缘执行的推理计算传达给中央

节点。这样可以减少所需的无线传输次数，并在发生关键系统事件时实时做出决策。例如，当驱动系统内某个齿轮的轮齿出现磨损和断裂时，该系统的频率特征即会发生变化。通过检测并分析这些变化，系统可以确定是否关闭电机，直到能够检查电机并在必要时让技术人员进行维修为止。如今，这一智能功能通常作为低端数字信号处理器（DSP）或高性能微控制器（MCU）实施。这两种选项各有利弊，不过即便是低端 DSP，通常也能轻松提供传感器节点所需的性能。很多低端 DSP 需要利用外部模数转换器（ADC）或外部存储器来收集和存储数据。

这些额外的组件导致总应用成本和功耗的无谓开销迅速增加。如前所述，考虑到很多楼宇的门窗数量数不胜数，家庭安防系统是一个很好的



示例。尽管添置多个昂贵的玻璃破碎检测系统非常有用，但很多消费者并不愿意为此买单。这些基于 DSP 的系统利用快速傅里叶变换（FFT）来执行声音振动数据分析，以确定窗户是否破损。此外，这些系统的功耗也相对较高，因此除非每个传感器都永久连接到电源，否则需要定期更换电池。

而对于微控制器，边缘处理通常是一项挑战，因为它们的计算能力非常薄弱。例如，执行通过 C 代码实施的 FFT 时所花费的时间要比

使用具有专用硬件外设的 DSP 长得多。由于 MCU 较长时间内都在活动模式下运行，此时间差值不但会造成效率低下，更为重要的是，还可能导致在时间紧急的情况下无法及时得到结果。这一固有的时间间隔降低了物联网 (IoT) 的可行性，因为此概念以两个理念为基石：

1. 中央枢纽能够与所连接的数十亿个设备通信并处理来自这些设备的数据
2. 所连接的设备足够智能，能够提供简单的最终用户体验

还有一个要考虑的示例。个人助理无线扬声器和移动手持设备能够处理用户的自然语言，以选择歌曲或订购披萨。这样就带来了极其复杂的挑战，因为人们的口音、声调以及所说的方言千差万别。终端节点必然会利用数字信号处理技术来解读用户可能发出的大量语句，但这样可能需要用到物理尺寸非常大的昂贵解决方案，进而影响到设备的便携性。电池寿命也是一个关键的考虑因素，因为每天充电一次以上会导致消费者失去兴趣。如今，通过允许便携式设备只监听特定的代码字或短语，以使系统能够开始将数据传输到中央服务器进行高级分析，并将分析结果回传到所连接的设备，这一问题已经解决。这是这些类型的高级处理应用常用的一种技术，但电源的低效让我们不得不考虑用户可以接受的充电间隔是多长。

根据具体的应用，每天充电一次是可以忍受的，不过消费者明显更喜欢充电一次即可连续使用一周甚至更久的解决方案。我们再来考虑一下玻璃破碎

检测器和电机监控器。在一家拥有数千个电机的大型工厂中，哪怕每隔一周为电池充一次电也是一个不切实际的解决方案。

最终，将 MCU 的低功耗优势与

DSP 的增强性能相结合，可让推理边缘计算的智能程度和数据处理能力实现重大突破。但这需要更先进的硬件。

老问题，新办法

想象一下，如果 MCU 具备数字信号处理引擎和专用硬件加速器的某些

预处理能力。这些 MCU 可以迅速唤醒以筛选数据或执行 FFT，但也可以在待机模式下利用比较器和 ADC 来了解何时唤醒。这样不仅可在各种工业和消费性应用中获得实时结果，还能降低系统功耗，让电池寿命达到数年之久，而不是数天。

尽管如今的某些 MCU 支持多种 DSP 加速器，但它们倾向于将中央处理单元 (CPU) 的能力发挥到极致，这样就导致会消耗大量的能源。MCU 中新加入的使能 DSP 协处理器 (例如 [MSP430™ MCU 平台](#) 上引入的低功耗加速器 (LEA))

以节能和具有成本效益的方式提升了性能水平，从而弥补了 MCU 与低端 DSP 之间的差距。专用硬件中具有 LEA 模块的 MCU 可执行 DSP 功能，因此允许硬件进入低功耗模式，从而降低系统总体功耗并执行更复杂的推理计算。这样，应用将：

- A. 更多地处于低功耗模式下，从而有效降低总体应用功耗；或者
- B. 专注于计算，以提高应用的频率。
- C. 允许应用执行其他功能，例如在 IoT 应用中与主节点进行无线通信。

随着时间的推移，为使互联设备越来越普及，

特别是考虑到更加智能的 MCU 能够以低成本、高效的方式让互联设备快速、方便地为用户提供数据，所有这些选项都变得至关重要。

LEA 模块是位于各个 MSP430 器件内的矢量数学引擎。此模块可执行信号处理、矩阵乘法以及在应用程序运行时通常需要耗费大量时间和能源进行计算的其他运算。LEA 模块是一个低功耗协处理器，在运行时无需任何 CPU 干预，可执行运算并在执行完功能后触发中断。LEA 模块基于在配置期间提供的命令运行，这些命令根据配置用作内存输入或输出缓冲器和运算类型的指针。专门为 MSP430 MCU 打造并优化的 [MSP DSP 库](#) 让这些命令变得简单易用，能够让程序员实现所选 DSP 应用。当器件上具有 LEA 模块时，编译器除了使用已实施的 MSP C 代码优化技术以外，还会自动使用此模块来优化性能。

利用数字信号处理的应用拥有端到端解决方案所需的多种不同技术。不过，这一处理可以细分为三个主要步骤：

- 1) 获取数据。执行此操作的可以是与传感器或者 SPI、I2C 或 UART 等通信模块连接的 ADC。
- 2) 获取数据之后，即可利用信号处理技术从数据集提取所需的信息。执行此操作的可以是用于净化信号的有限脉冲响应 (FIR) 滤波器、用于提取各种频率干扰的 FFT，或者其他任何常用的 DSP 型处理。
- 3) 从数据集提取信息之后，可能需要对其执行操作。此操作可能是根据 FFT 或 FIR 取得的结果做出决策，或者只是导出通过 Wi-Fi®、低于 1GHz 的网络、UART、I2C、SPI 等有线或无线连接计算出的信息。

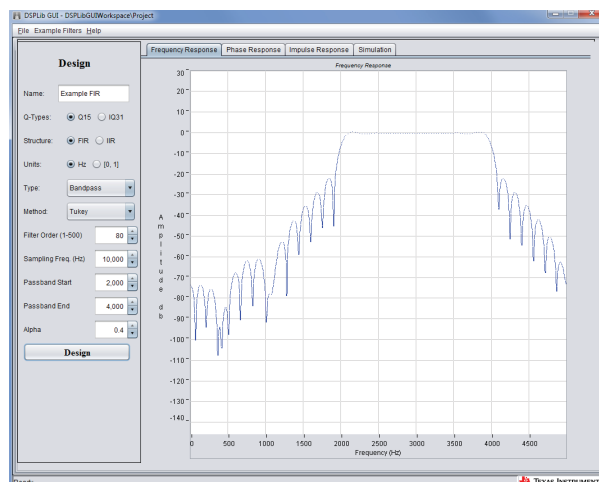


图 1. DSPLib GUI

在过去，会在嵌入式 C 代码中实施步骤 2，但此任务对于 CPU 来说通常非常繁重，并可能由于所涉及的数学计算（例如复杂的 FIR 计算）而占用应用程序的大部分计算时间。

而 LEA 模块硬件加速器在功耗和基于矢量的计算性能方面都经过优化，因此快速、高效地减轻了 CPU 的繁重负担，大大提高了系统总体性能。

在 TI 设计参考设计中可以见证这一性能提升的实用实施方法：[使用 MSP FRAM 微控制器上的低功耗加速器 \(LEA\) 进行筛选和信号处理](#)。

下面的图 2 表明，当主 CPU 执行处理时，FFT 功能花费了 9.46ms 的时间。

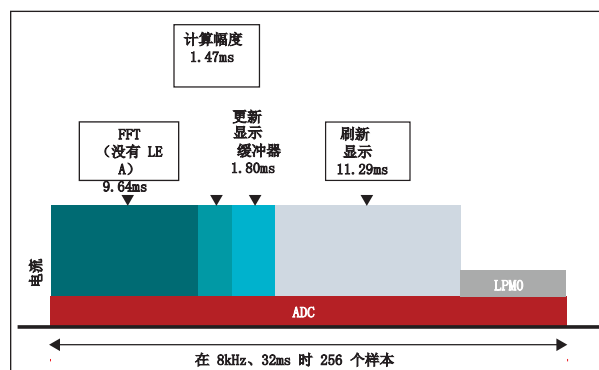


图 2. 基于 FFT 的应用，没有 LEA 模块

图 3 显示了 LEA 模块的显著优势，并将 FFT 处理时间缩短到 700us。

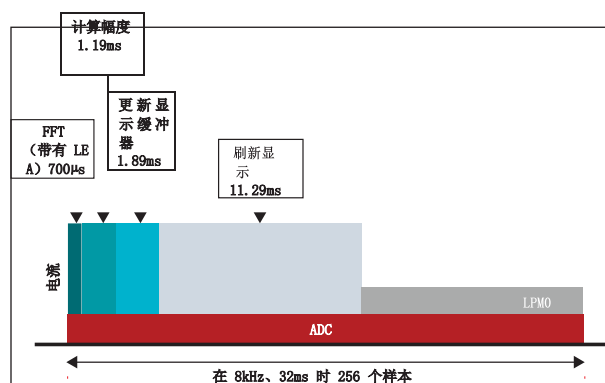


图 3. 基于 FFT 的应用，使用 LEA 模块

在测试和应用中，我们发现，与各种信号处理功能中实施的基于 C 语言的传统 16 位 MCU 相比，性能实现了 15 倍以上的提升。与使用 CMSIS DSP 库的 ARM® Cortex®-M0+ 器件相比，性能甚至最多提升了 40 倍。

LEA 模块不但能够比经过优化的 C 代码更快地执行这些繁重的信号处理操作，还降低了硬件加速器的功耗，而且 LEA 模块实际上能够

在我们的 MSP430 MCU 上以低功耗模式 0 (LPM0) 运行，因此与运行 C 代码的类似 MSP430 MCU 相比，能耗仅为 1/9；与使用 CMSIS DSP 库的 ARM Cortex-M0+ MCU 相比，能耗仅为 1/12。

	时钟频率	能耗 (µJ)			
		128 点复数 FFT	256 点复数 FFT	512 点复数 FFT	FIR
MSP430FR5994 具有 LEA	8MHz	1.228	2.219	4.424	4.378
MSP430FR5994 具有 LEA	16 MHz	1.182	2.092	4.184	4.065
ARM Cortex-M0+ MCU	12MHz 具有直流/直流转换器	10.722	24.777	52.806	32.295
MSP 的性能提升		9.07x	11.84x	12.6x	7.94x

表 1. 性能比较

LEA 模块的性能优势取决于您采用的信号处理技术的类型。例如，

FFT 的运算性能取决于几个分量（例如矢量长度）以及您是在计算复数 FFT 还是实数 FFT。

当实施 FIR 滤波器时，性能取决于多种变量，包括矢量长度、阶数以及您是在执行复数还是实数 FIR 计算。不过，请务必注意，对于 LEA 模块中可能进行的所有矢量数学运算，您会发现，与传统的 C 代码信号处理技术相比，总体性能将得到提升。

有关低功耗加速器的性能优势和基准的更多信息，

请参阅此应用手册：[《对低功耗加速器的信号处理能力进行基准测试》](#)。

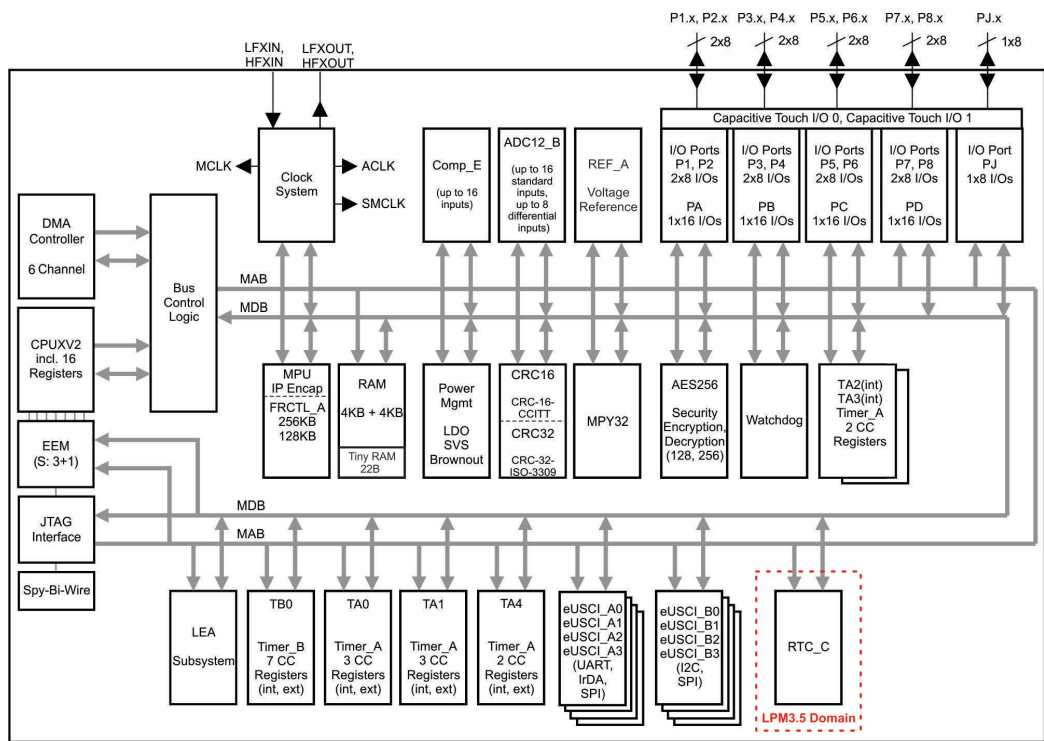
具有 LEA 的 MSP430FR5994 MCU

MSP430F599x 微控制器是采用这种新型 LEA 模块外设的领先器件

。这些高性能的 16 位 MCU 具有屡获殊荣的超低功耗架构、最大 256KB 的嵌入式铁电随机存取存储器 (FRAM) 以及多种灵活高效的外设，构成了一个适用于很多数字信号处理应用的绝佳 MCU 平台。

256KB 的嵌入式超低功耗 FRAM 提供了允许用户定制的分区程序和数据存储器，让用户能够创建较大的非易失性数据缓冲区。

立即使用 [MSP430FR5994 MCU LaunchPad™ 开发套件](#) (见图 5) 开始进行开发。此套件包含所有必要的硬件，您可以利用这款强大的 MCU 开始进行评估和开发。



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 4. MSP430FR5994 MCU 方框图

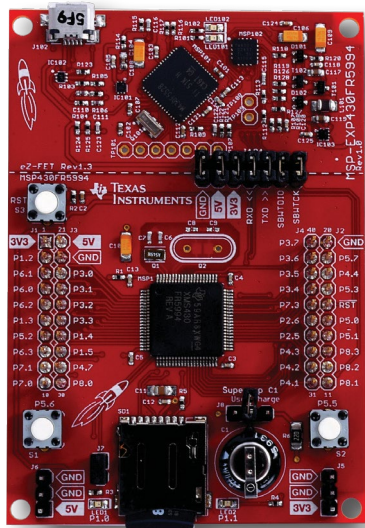


图 5. MSP-EXP430FR5994 MCU LaunchPad™ 开发套件

总结

总体而言，目前有很多应用使用了 MCU 或低端 DSP。声码器、存在检测、回声/噪声消除、血糖监测仪以及结构或环境监测网络都可以细分为多种不同的信号处理功能，这些功能通过分类和数据分析、检测以及在必要时对事件或不确定情形采取措施来对情况进行解读。无论是哪种情况，TI 的低功耗加速器 (LEA) 都能够更快速、更高效地执行数据分析，延长电池使用寿命、提高性能或增强功能，从而带来多种优势！

重要声明： 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

平台横幅是德州仪器 (TI) 的商标。
所有其它商标均是其各自所有者的财产。

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司