



白皮书

用电容式触摸感应技术实现 HMI 差异化解决方案

版本：v1.0

日期：2023 年 6 月

www.infineon.com



目录

1 CAPSENSE™基础知识	3
2 自电容感应 (CSD)	3
3 互电容感应 (CSX)	4
4 设计坚固耐用的触摸 HMI 解决方案的 4 大挑战	4
5 鲁棒性	4
6 响应速率	5
7 低功耗	5
8 外形美学	6
9 支持 CAPSENSE™的 PSoC™ MCU	6
10 提供直观 GUI 界面的综合软件解决方案 (ModusToolbox)	9

电容感应技术在消费电子、工业和汽车前面板应用中，是一种常见的界面技术选择，取代了开关和旋钮。物联网设备涵盖消费应用、工业应用和商业应用，它们都可以从时尚的用户界面中受益，实现产品差异化，例如：触摸显示屏、按键/滚动条、接近感应和智能家居中的智能触摸开关等。为了提供最佳用户体验，触摸显示屏可能还需要支持手势识别、防水、手腕检测和戴手套触摸等功能。这些功能都可以通过电容感应技术实现，以直观的方式让用户与产品进行交互。



图 1 触摸式家用电器（示例）

1 CAPSENSE™ 基础知识

CAPSENSE™是英飞凌的电容式触摸感应技术，其工作原理是：通过测量传感器板与周围环境之间的电容变化，来检测触摸表面上或附近是否存在手指。典型的电容式传感器由印刷电路板表面上尺寸合适的铜垫组成，铜垫上的非导电覆层可作为按钮的触摸表面。在电容式触摸感应应用中，通常有以下两种感应方法。

2 自电容感应（CSD）

CSD（CAPSENSE™ Sigma-Delta）是英飞凌的专有自电容感应方法。该传感器实际上就是一个连接到 PSoC™ MCU 引脚的导体。传感器可以使用 PCB 上的铜垫、印刷在触摸屏玻璃上的 ITO 或氧化银等透明材料构造，甚至可以是印刷在非导电材料上的导电涂料，或者只是一根简单的电线。高性能触摸感应引擎可以测量电极与地之间的电容。触摸固件库中的算法可以识别触摸模式和用户交互。自电容感应通常用于支持单指操作的界面，例如：按键、滚动条、接近传感器和单指操作触摸屏。

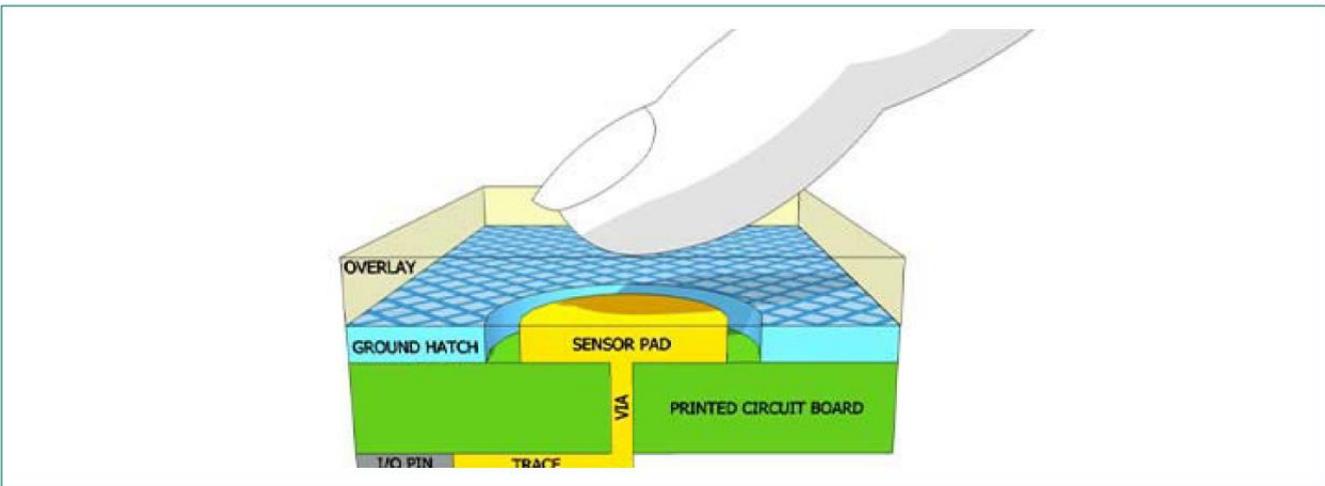


图 2 自电容感应（CSD）方法

3 互电容感应 (CSX)

CSX 是英飞凌的专有互电容感应方法。顾名思义，互电容感应的工作原理是，测量两个电极，即发射 (Tx) 和接收 (Rx) 电极之间的电容变化。将手指放在 Tx 和 Rx 电极之间时， C_M 减小，随着 C_M 减小，Rx 电极接收到的电荷也会减少。电容感应系统会通过测量 Rx 电极接收到的电荷量，来检测有无触摸。互电容感应的应用示例包括，可以同时检测多指触摸的触摸屏。

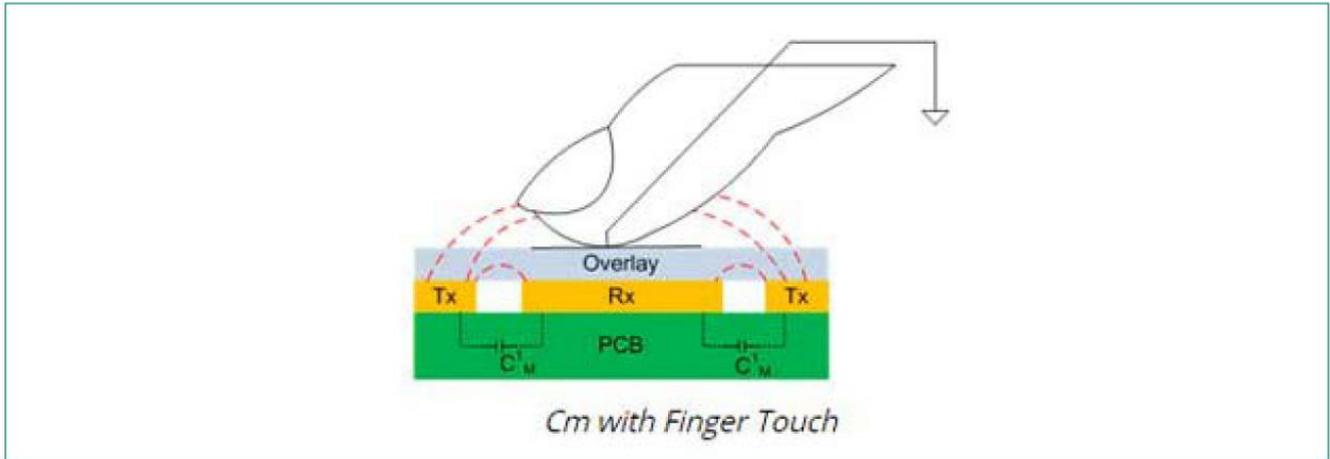


图 3 互电容感应 (CSD) 方法

4 设计坚固耐用的触摸 HMI 解决方案的 4 大挑战

打造可靠耐用的电容感应系统，对嵌入式设计人员而言颇具挑战性。在触摸面板检测手指触摸，需要测量飞法 (fF) 级别的电容。很多噪声源都可能影响测量、干扰操作，并导致触摸误测。这些噪声源包括但不限于：环境因素、液体、金属物体、灰尘、水分、潮湿、极端温度或电噪声，例如：其他设备的传导噪声和辐射噪声。触摸界面必须在所有这些条件下可靠工作，并满足 EMC & EMI 和行业规范要求。

设计优异可靠的触摸 HMI，应考虑鲁棒性、响应速度、低功耗以及外观美学。

5 鲁棒性

英飞凌提供高性能、坚固耐用的解决方案，对各种噪声源具有高抗扰性，并且能够在恶劣的工作条件下可靠运行。对外部噪声源的高抗扰性内置于芯片硬件中，并且借助复杂的固件算法，隐藏了芯片硬件的复杂性，提供了可靠的电容式触摸感应解决方案。部分关键参数有助于提供高鲁棒性解决方案，其中包括：

- **信噪比：**作为设计中最重要参数，高信噪比代表触摸界面具有高可靠性。英飞凌先进的感应算法哪怕在嘈杂的环境中也能提供可靠的性能，信噪比 (SNR) > 100:1。
- **强大的耐液性：**触摸感应必须在水滴、雨水、雾气等液体环境中也能可靠地工作，并能防止在流动水下产生误触。英飞凌的电容感应技术，与驱动屏蔽电极相结合，可保护传感器不受液体影响。混合感应（可以进行多种类型的测量，例如自电容、互电容和电感感应）依据通过多种感应方法在同一界面上获得的数据，制定决策逻辑，进一步防范复杂的故障情况。这对户外设备和家用电器而言尤其重要，因为用户可能会泼洒液体或使用肥皂/湿抹布擦拭面板。

- **EMC/EMI 合规性：**传感器的工作频率对于 HMI 界面噪声以及对外部电气噪声源的高抗扰性发挥着重要作用。对此，英飞凌提供了多种解决方案，其中包括扩频时钟（SSC）和伪随机序列（PRS），二者将操作时钟扩展到了更宽的频率范围，以减少特定频率的噪声。这种时钟扩展还可以保护感应系统不受特定频率及其谐波的干扰。多频扫描（MFS）是一种使用多个窄带频率执行多次“微”扫描的方法，它有助于提供高鲁棒性，抵御高频传导和辐射的噪声源，有助于满足 EMC/EMI 的监管要求。对于需要在恶劣的嘈杂环境下可靠运行的工业设备触摸界面而言，这非常重要。
- **操作条件：**触摸感应界面通过测量触摸传感器的电容来工作，可能对传感器周围的湿度和温度等环境因素非常敏感。灶具（温度快速变化）等受环境变化影响的设备，需要对触摸传感器周围的这类因素具有高抗扰性。电容式触摸感应解决方案通过执行相对测量，来检测传感器上的用户交互，克服了这一挑战。

随着产品变得更小、更智能，越来越多的器件被压缩在小型封装中，正因如此，对其他电子器件和射频发射器的噪声具有高抗扰性，对打造优异的 HMI 界面而言非常重要。多年来，英飞凌的专有感应方法为电容 HMI 解决方案提供了全球最佳的噪声保护。

6 响应速率

响应速率指的是触摸 HMI 对用户交互的快速反应能力。一个简单的触摸按键界面（仅检测开关状态）需要大约 40 Hz 的扫描速率，才能获得更流畅的用户体验；一个滚动条界面或触摸屏界面，除了检测和跟踪手指位置外，还需要检测手势，这样的界面需要大约 60-120 Hz 的扫描速率，以确保流畅的用户体验。

英飞凌的触摸解决方案提供高于 120 Hz 的扫描速率，可实现更加流畅的用户界面设计。这是通过采用基于高性能 delta-sigma 架构的电容数字转换器，以及在某些触摸控制器中，使用多个电容数字转换器，同时感测多个传感器来实现的。

7 低功耗

在大多数产品中，触摸 HMI 界面通常保持激活状态，即便在产品的待机模式下也是如此，这是因为用户可能会随时使用触摸界面，唤醒待机的产品。因此，对于使用电池供电的设计，低功耗触摸解决方案变得特别重要。

要想优化触摸系统的平均功耗，不仅仅是选择使用数据手册中功率规格最低的芯片那么简单。选择一个响应速度高于产品要求的触摸控制器，有助于在满足所需的响应速度的同时，在一段时间内将芯片置于深度睡眠状态，以降低功耗。比如联动感应和混合感应的功能性和灵活性，可以在待机模式下，优化扫描持续时间，并在不影响用户界面功能的情况下，将控制器置于深度睡眠状态更长的时间。其中，联动感应方法可以在芯片内，将多个传感器组合在一起，并以更短的扫描时间，像大型触摸传感器或接近传感器一样，感应任何传感器上的触摸事件或接近事件。混合感应可以在待机模式下，使用最低平均功耗的感应方法，扫描传感器或联动传感器，以检测触摸事件。你还可以在睡眠或深度睡眠模式下，灵活操作感应子系统，关闭未使用的触摸控制器外设，以进一步优化平均功耗。因此，必须精挑细选兼具功能性和灵活性的控制器，以优化触摸 HMI 的整体功耗，实现最佳效果。

8 外形美学

如今，客户不仅需要产品功能齐全，还需要获得独特的解决方案和出色的外观。例如：智能温控器不再仅仅是一个装置，还应当是客厅墙壁上的一件美观艺术品。这些产品需要在各个方面都具备优雅的外观，包括 HMI 界面。值得注意的是，在过去十年，许多成功的产品都兼具出色的触摸 HMI 和美学设计。随着物联网产品变得越来越小，器件被压缩到了更小的封装中，因此，在产品可用空间有限的情况下，设计触摸界面成为了一项挑战。

设计小型触摸界面，离不开一个高性能的触摸感应系统，该系统可以检测低至飞法级别的触摸信号，具备更强的抗干扰性能，以应对紧凑的封装设计可能带来的各种噪声挑战；同时，它还具有充分的灵活性，以支持各种传感器设计，并具备可扩展的硬件和软件架构。英飞凌的触摸感应解决方案凝聚了二十载技术积累与创新，提供全面解决之道。

9 支持 CAPSENSE™的 PSoC™ MCU

英飞凌的电容触摸技术主要分为三大系列：

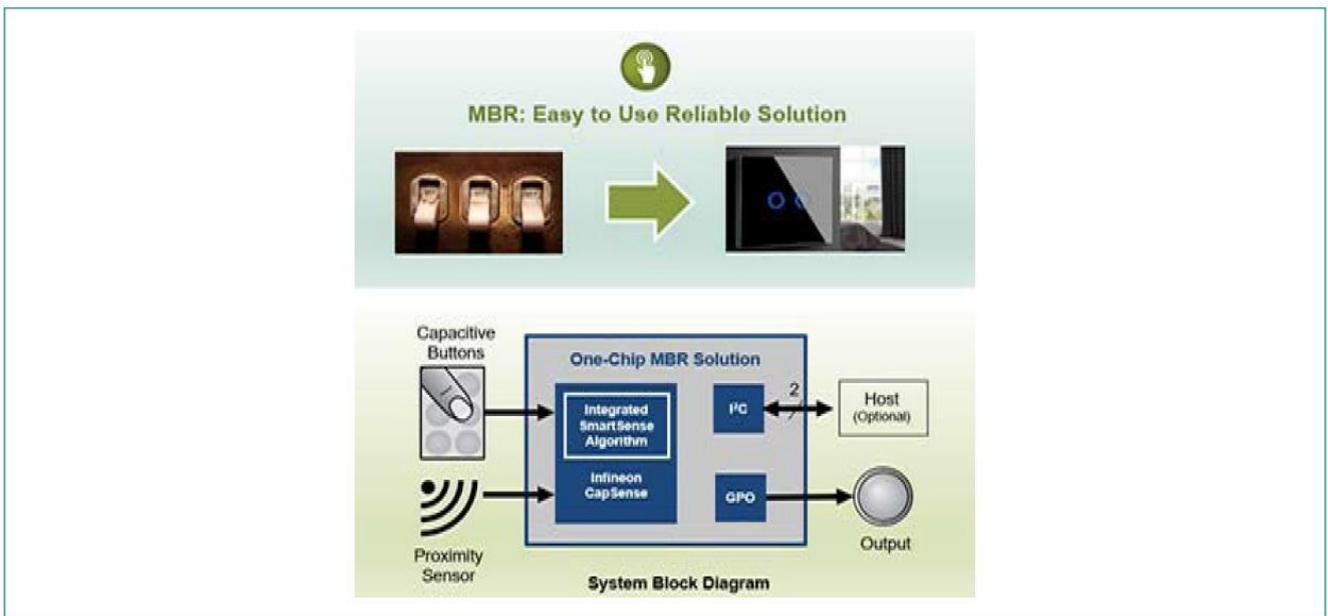


图 4 MBR——可配置的触摸控制器

MBR 器件：可配置的 CAPSENSE™控制器，无需固件开发或手动调整，即可通过时尚可靠的触摸用户界面，轻松快速地取代机械按键。这是在产品中实现触摸界面的最简单快速的方法之一，即便是没有电容感应经验的初学者，也可以快速轻松地完成设计。

PSoC 4 MCU：英飞凌具有触摸界面的可编程 MCU。其可编程性能够更加灵活地实现复杂的界面，并优化触摸界面的性能。

PSoC 4 MCU 的可编程模拟和数字模块，支持自定义模拟前端，轻松地将智能模拟传感器集成到你的应用中。部分 PSoC 4 器件集成了可编程有线通信（USB、CAN、I2C、SPI、UART）甚至无线通信（BLE），简化了 RF 设计以及与外部设备的连接。PSoC 4 简化了复杂的 HMI 界面，例如电容式和电感式感应，实现了时尚、稳健且简单易用的界面。

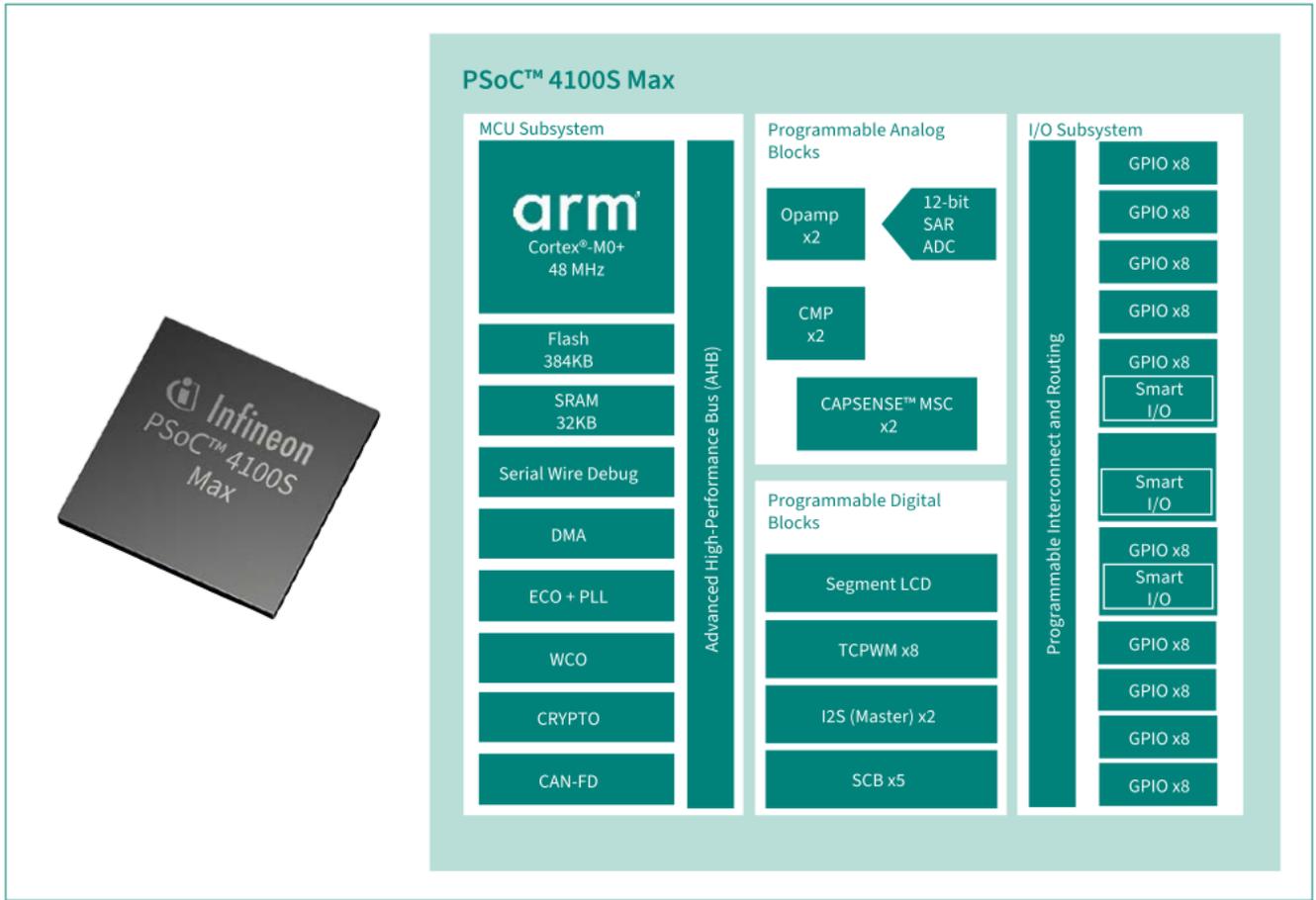


图 5 PSoC™ 4100S Max 功能框图

下图展示了支持 CAPSENSE™ 触摸 HMI 的 PSoC 4 系列产品，该系列产品除了触摸感应之外，还具有更多功能，适用于 HMI Plus 传感器或系统控制器等应用。例如，集成 CAPSENSE™ + 模拟前端 (AFE) + 数字外设，这使其成为低内存应用（例如，Housekeeping MCU）的理想选择。

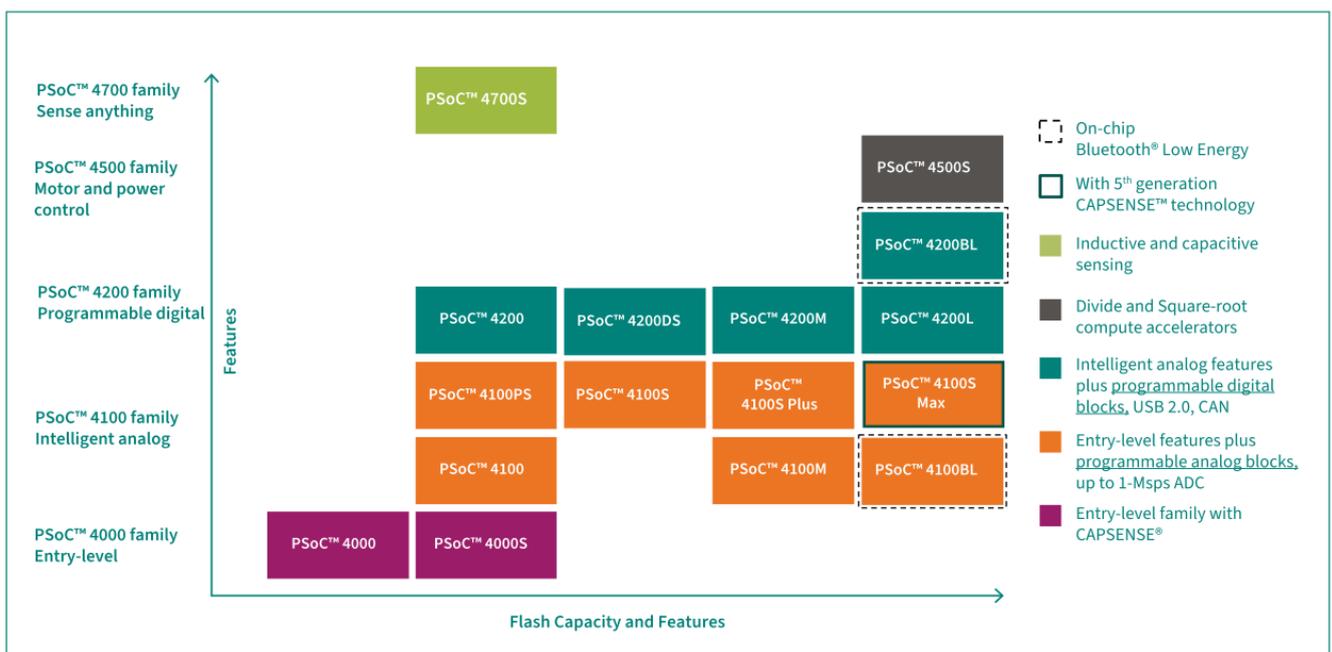


图 6 PSoC™ 4 MCU 产品系列

英飞凌的 PSoC 6 MCU (www.cypress.com/psoc6) 器件系列不仅具有 HMI 界面，还是专为物联网应用构建的双核微控制器。该 MCU 适用于嵌入式物联网应用，提供触摸 HMI、无线连接、安全、图形处理等功能。

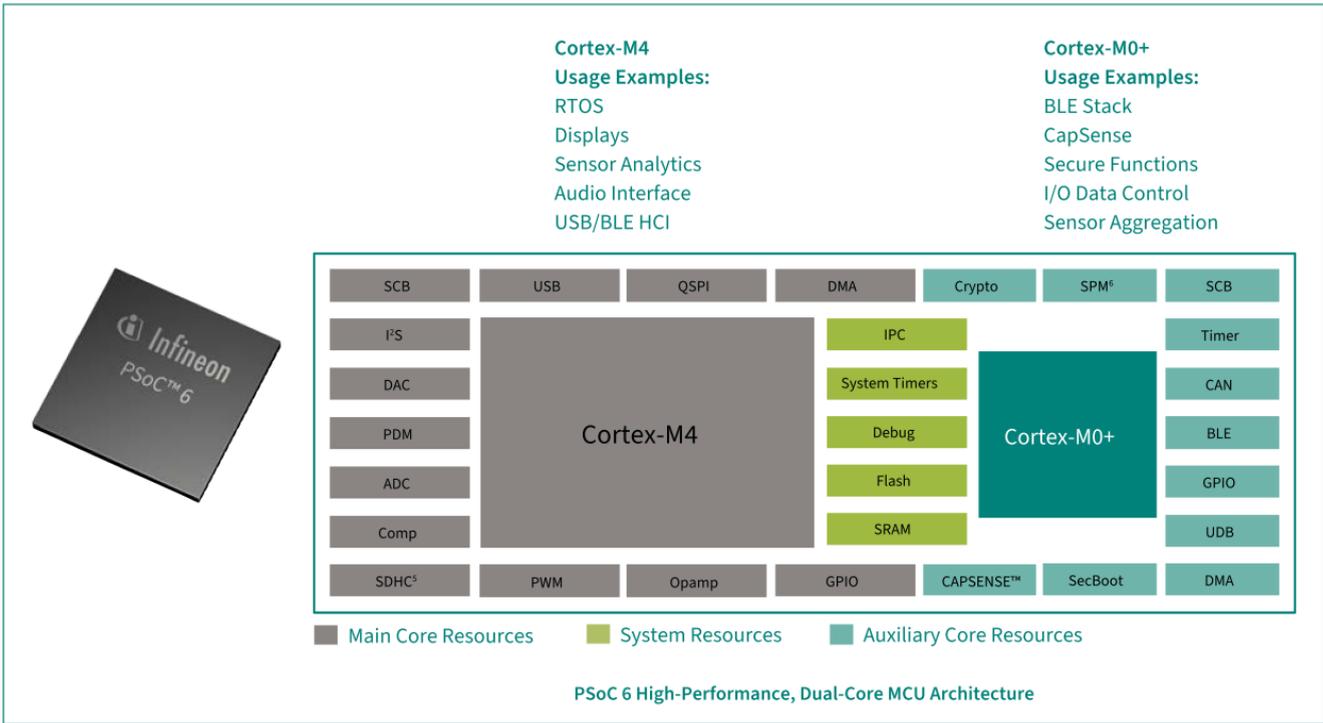


图 7 PSoC 6 MCU——专用物联网微控制器



图 8 PSoC 6 MCU 产品系列

PSoC 6 MCU 的主要特点是 150 MHz 和 100 MHz 双核 Arm® Cortex®-M4 和 Arm Cortex-M0+ 超低功耗 40 nm 架构。它采用业界领先的超低功耗设计，在激活模式下，功耗低至 22μA/MHz。ModusToolbox 提供出色的 Wi-Fi 连接选项，支持 Amazon Web Services 等云服务，同时集成了基于硬件的“安全执行环境 (SEE)”，具备安全数据存储功能。

10 提供直观 GUI 界面的综合软件解决方案 (ModusToolbox)

实现坚固耐用的触摸式嵌入系统，离不开优异的芯片和简单易用的软件解决方案，正因如此，英飞凌提供了先进的触摸库，带有 Modus 工具箱 IDE，仅需调用少量 API，即可在支持 CAPSENSE™ 的可编程 MCU 上快速实现触摸界面。

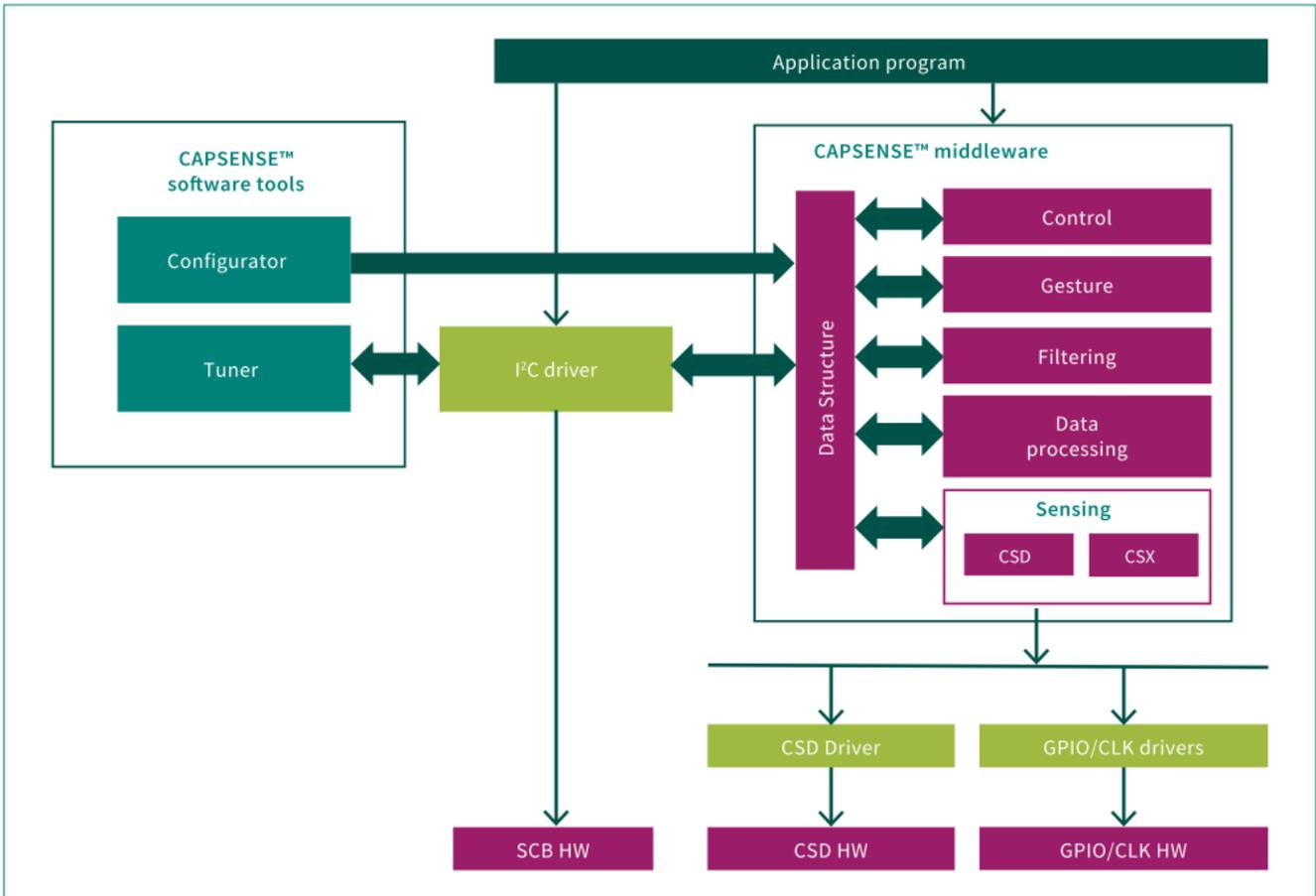


图 9 ModusToolbox 中的 CAPSENSE™ 解决方案

CAPSENSE™ 中间件触摸固件库提供了专用 API，可快速实现最终产品的强大触摸用户界面；它还提供基于图形界面的向导，用于自定义固件库，并为各个应用程序创建适用的界面、小部件和配置。Tuner Software 工具是一款实时性能分析软件工具，可用于调整、测试、验证和调试，支持 I2C、UART、蓝牙接口。

11 参考文献

阅读《英飞凌 CAPSENSE™设计指南》

英飞凌为有志设计触摸屏的人员提供了全面且有用的文件。它们将指引用户从概念走向产品化，并助力他们应对各种系统级挑战，为产品打造稳健的触摸式 HMI。

[CAPSENSE™电容式感应概述网页](#)

[《CAPSENSE™应用说明》入门](#)

[ModusToolbox CAPSENSE™配置器指南](#)

[PSoC 4 和 PSoC 6 MCU CAPSENSE™设计指南](#)

从代码示例开始

这些示例包含简单和复杂的 CAPSENSE™ 触摸式 HMI 解决方案的代码。

[ModusToolbox 软件的代码示例 \(GitHub\)](#)

在[开发者社区](#)寻求帮助!

三种风格的 PSoC MCU 开发套件

你可以使用多种开发套件评估 PSoC MCU。其中，功能齐全的“Pioneer”套件提供了增强版功能，例如：板载传感器、CAPSENSE™、板载无线和用于添加显示器、外部传感器等的 Arduino® 扩展板。

所有 CAPSENSE™开发套件均可在[此处查看](#)

关于作者



Vibheesh Bharathan

Vibheesh Bharathan 是一位非常活跃的营销专家，在系统设计和半导体领域拥有深厚的工程背景。他现任英飞凌科技股份公司的首席系统工程师，主要负责 MCU 产品线的触摸感应技术系列产品。他在技术和业务岗位上拥有超过 15 年的经验，热衷于技术和业务开发。联系方式：Vibheesh.Bharathan@Infineon.com。



Jaya Kathuria Bindra

Jaya Kathuria Bindra 现任英飞凌科技股份有限公司应用工程总监，主要负责管理嵌入式应用组以及使用 PSoC 和 WiFi/BT 平台的解决方案开发。她拥有 Kurukshetra 大学的电子工程学士学位以及位于班加罗尔的印度管理学院 (IIM) 的 MBA 证书，在半导体行业拥有超过 17 年的经验。联系方式：Jaya.Bindra@Infineon.com。



www.infineon.com

英飞凌科技股份有限公司印制
Am Campeon 1-15, 85579
Neubiberg
Germany

©英飞凌科技股份有限公司版权所有，2023 年，保留所有权利。

公开

日期：06 / 2023

重要提示

本文档所提供的任何信息绝不当被视为针对任何条件或者品质而做出的保证（质量保证）。英飞凌对于本文档中所提及的任何事例、提示或者任何特定数值及/或任何关于产品应用方面的信息均在此明确声明其不承担任何保证或者责任，包括但不限于其不侵犯任何第三方知识产权的保证均在此排除。

此外，本文档所提供的任何信息均取决于客户履行本文档所载明的义务和客户遵守适用于客户产品以及与客户对于英飞凌产品的应用所相关的任何法律要求、规范和标准。

本文档所含的数据仅供经过专业技术培训的人员使用。客户自身的技术部门有义务对于产品是否适宜于其预期的应用和针对该等应用而言本文档中所提供的信息是否充分自行予以评估。

如需产品、技术、交付条款和条件以及价格等进一步信息，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽（www.infineon.com）。

警告事项

由于技术所需产品可能含有危险物质。如需了解该等物质的类型，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽。

除非由经英飞凌科技授权代表签署的书面文件中做出另行明确批准的情况外，英飞凌科技的产品不当被用于任何一项一旦产品失效或者产品使用的后果可被合理地预料到可能导致人身伤害的任何应用领域。