

采用 **MSP430FR604x MCU** 的水流和燃气流量计量超声波传感技术的常见问题解答 (FAQ)

Srinivas Lingam

MSP430 FRAM Applications

摘要

此常见问题解答描述了针对飞行时间测量的基于波形的相关技术，这些技术应用于水流和燃气计量的超声波传感技术中。本文档介绍了在使用 **MSP430FR604x** 微控制器 (MCU)、基于超声波设计中心的软件和主要性能指标进行设计时的设计和工程权衡。

内容

1	常见问题解答 (FAQ)	1
1.1	基本设置	1
1.2	系统级性能方面，如测量精度、零流量漂移 (ZFD) 和阻抗匹配	4
1.3	软件功能以及为支持其他特性或功能而可能需要进行的修改	10
1.4	LCD 显示屏、超声波传感设计中心 GUI 显示和配置	10
2	参考文献	14

商标

Code Composer Studio is a trademark of Texas Instruments.
IAR Embedded Workbench is a registered trademark of IAR Systems.
All other trademarks are the property of their respective owners.

1 常见问题解答 (FAQ)

本部分回答了使用 **MSP430FR604x MCU** 和超声波设计中心软件来设计水流量计和燃气流量计时出现的常见问题 (FAQ)。

1.1 基本设置

1. **MSP430 MCU** 超声波设计中心无法识别 **MSP430FR6047** 超声波传感评估模块或 **MSP430FR6043** 超声波传感燃气评估模块。可能的原因是什么？
 - 确保将 **EVM430-FR6047** 或 **EVM-FR6043** 连接到 PC。
 - 该 EVM 包括一个 HID 桥；Windows 设备管理器应该会将其识别为两个 HID 设备。
 - 确保跳线设置正确，以便为电路板供电并与 HID 桥通信。有关更多详细信息，请参阅《**EVM430-FR6047 硬件指南**》或《**EVM430-FR6043 硬件指南**》。
 - 尝试重新启动 GUI。
 - 如果需要，对 EVM 重新编程。
 - 也可以尝试重置器件。

2. 超声波设计中心 GUI 已连接，但在加载新配置后未更新 MSP430 MCU。什么原因可能导致这种行为？
 该 MCU 不支持某些配置。如果 GUI 尝试将不受支持的配置加载到 MCU，则 GUI 将显示错误。有关具体错误的更多信息，请参阅超声波设计中心的 *Error Handling* 帮助部分。可能需要使用其他配置或修改固件。
 也可以尝试再次刷写 MCU。
3. MSP Flasher、Code Composer Studio™IDE (CCS) 或 IAR Embedded Workbench®for MSP430 IDE (IAR EW430) 无法对 EVM 进行编程和调试。
 - 确保将 EVM430-FR6047 或 EVM430-FR6043 连接到 PC。
 - 该 EVM 包含用于编程和调试 MSP430FR604x MCU 的 eZ-FET 电路。Windows 设备管理器应该会将该 eZ-FET 识别为两个 HID 设备。
 - 需要有驱动程序才能正确运行。TI 建议通过安装 TI CCS 或 IAR EW430 等 IDE 来安装驱动程序。也可以从 <http://www.ti.com/MSPdrivers> 获取驱动程序。
 - 确保跳线设置正确，以便为电路板供电并与 eZ-FET 通信。有关更多详细信息，请参阅《EVM430-FR6047 硬件指南》（或《EVM430-FR6043 硬件指南》）。
4. GUI 中的“ADC Capture”面板显示可忽略（或为零）的 ADC 信号。可能的问题是什么？
 - 验证传感器的极性。确保传感器的 GND 连接到 EVM 上的 GND 而不是 SIGNAL 引脚。
 - 按照快速入门指南中的说明调整超声波传感设计中心 GUI 参数。
 - 对于水流量计应用，确保管道充满水并调整方向以使传感器完全浸入水中。另外，在管道装满后摇动管道，观察是否有气泡。补充水量以重新填充任何可能有气泡的区域。
5. 电流消耗是如何测量的？
 为了测量电流消耗，TI 使用了 Keysight N6705B 仪器。该测试配置为在 3.3V 电压下从 Keysight 仪器提供电流，而该仪器设置为以大约 200kHz 的频率对电流进行采样。
 对于水流量计应用，这些测量是使用 MSP430FR6047 器件修订版 B MCU 和软件库版本 USSSWLib 01_40_00_06 完成的。有关更多信息，请参阅《适用于水流量测量的超声波传感子系统参考设计》中的平均功耗部分。
 对于燃气表应用，这些测量是使用 MSP430FR6043 器件修订版 A MCU 和软件库版本 USSSWLib 02_20_00_09 完成的。有关更多信息，请参阅《适用于燃气流量测量的超声波传感子系统参考设计》中的平均电流消耗部分。
6. ADC 输出波形信号电平不存在。可能的原因是什么？
 对于水流量计应用，确保管道中有水。如果有水，请确保传感器浸入水中。一种常见的错误是管道倒置，使传感器置于空气中而没有浸入水中。如果信号没有通过水传播，信号会明显衰减。这是信号非常低的常见原因。
 确保选择正确的传感器激励频率。对于 1MHz 的标称频率，使用与正确频率相差 100kHz 的激励频率可能会导致信号幅度衰减高达 15dB，频率响应也会明显变差。
 同样，对于燃气表应用，需要选择正确的传感器频率。根据介质是空气、甲烷还是任何其他气体，还需要正确配置 PGA 设置，以确保 ADC 输出足够大。

7. 良好的 ADC 输出波形信号是什么样的？

良好的信号应具有以下特征：

- 直流失调电压应该接近于零。
- 对于水流量计应用，ADC 输出波形幅度应在 ± 1000 个代码内（对于 1MHz 传感器）和 ± 600 个代码内（对于 2MHz 传感器）。可以通过“GUI Based Gain Control”参数来控制增益设置。
- 对于燃气表应用，ADC 输出波形幅度应在 ± 1000 个代码内（对于 200kHz 至 500kHz 的传感器）。可以通过“GUI Based Gain Control”参数来控制增益设置。
- 应设置“Capture Duration”，使波形斜升并斜降。例如，《适用于水流量测量的超声波传感子系统参考设计》（对于水流量计应用）和《适用于燃气流量测量的超声波传感子系统参考设计》（适用于燃气表应用）中的图 13“USS 设计中心 ADC Waveform Capture 窗口”就是很好的模板。
- 应设置“Gap between pulse start and ADC capture”，使波形明显从大约 0 点处开始，并随着传感器频率（水流量计可以是 1 至 2MHz，燃气表可以是 150 至 500kHz）斜升到信号。最好是确保捕获结果中包括一些在捕获开始时接近 0 的样本。

图 1 显示了采样频率为 3.6MHz 的 1MHz 传感器的示例波形。

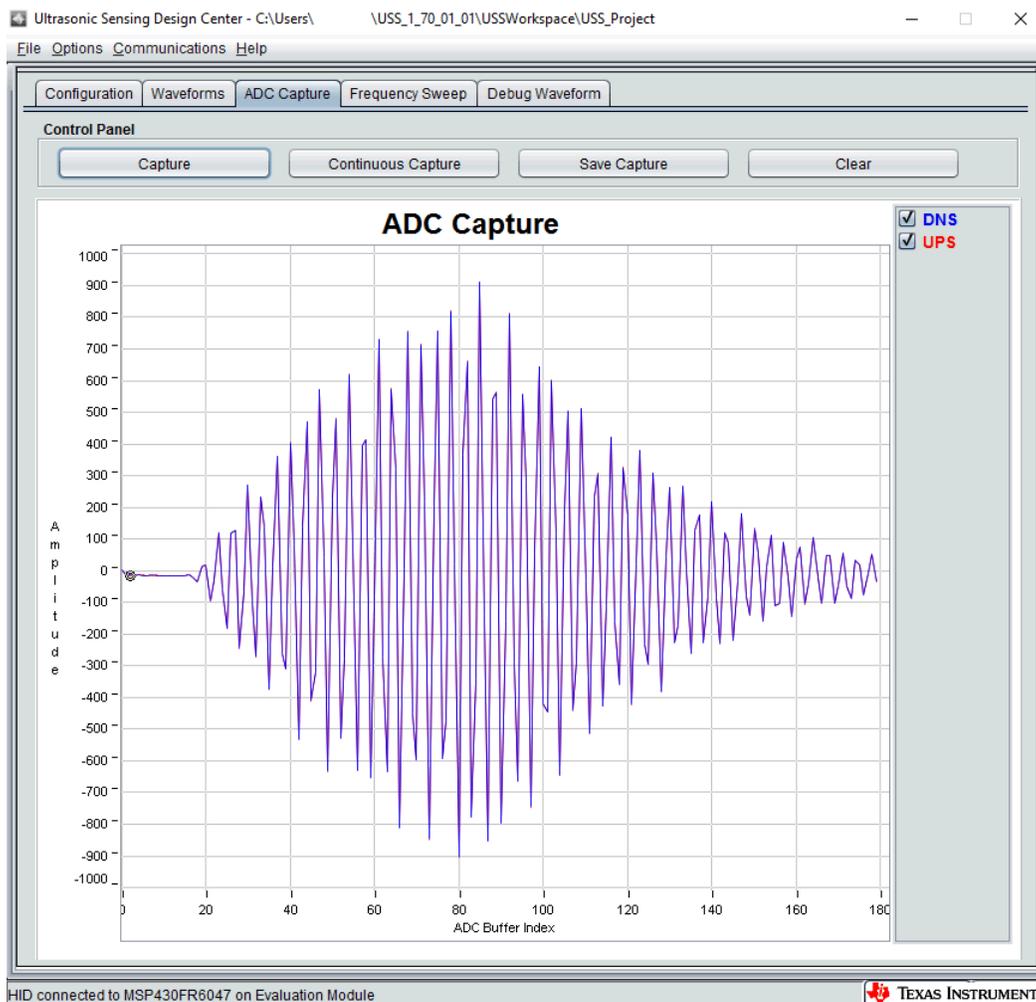


图 1. 典型的 ADC 捕获

1.2 系统级性能方面，如测量精度、零流量漂移 (ZFD) 和阻抗匹配

1. MSP430FR604x 器件数据表显示 USS 流量计具有 dTOF（差分飞行时间）测量的最高精度（水流量测量精度为 <math><25\text{ps}</math>，燃气流量测量精度为 <math><500\text{ps}</math> ($\pm 250\text{ps}</math>)）。水流量测量精度 25ps 和燃气流量测量精度 500ps 是如何得出的？$

这些值是根据使用客户管道和传感器进行的测试得出的。在零流量条件下将管道置于温度烘箱中，执行 +5°C 至 +85°C 温度范围（水）或 -35°C 至 +65°C 温度范围（燃气）的温度测试，并且测试应测量差分飞行时间 (dTOF)。水的温度变化超过约 2 小时。平均 dTOF 取自数百次测量，并会在该温度范围内评估 dTOF 值的漂移（最大和最小测量值之间的差异）。dTOF 的值便是该测试的结果。MSP430FR604x MCU 具有良好的阻抗匹配，但零流量下的最终 dTOF 漂移也取决于传感器的匹配程度。如需了解这些测试和结果细节的更多详细信息，请参阅《适用于水流量测量的超声波传感子系统参考设计》（对于水流量计应用）和《适用于燃气流量测量的超声波传感子系统参考设计》（适用于燃气表应用）中的“测试结果”部分

图 2 显示了采用一对 1MHz 传感器的水流量计的 dTOF 随时间和温度的变化。

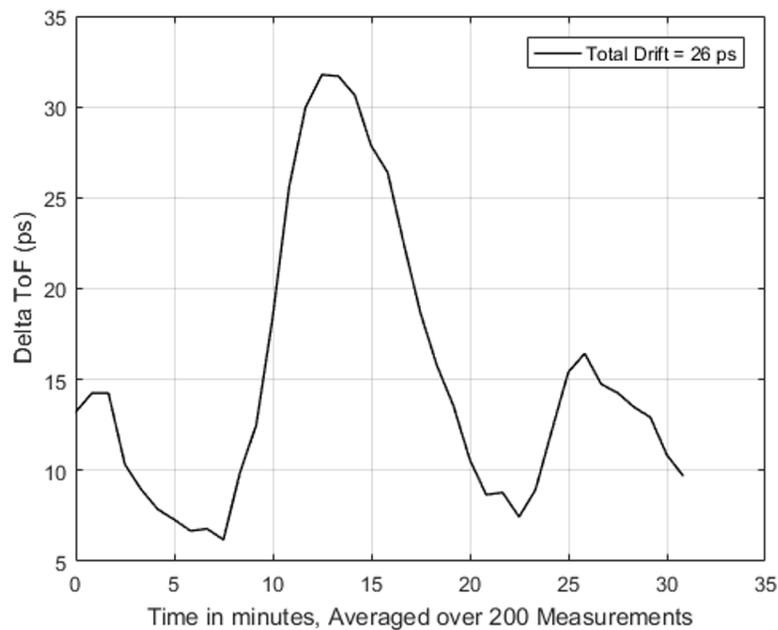


图 2. 流量计位于烘箱中时，水流量的 dTOF 零流量漂移 (ZFD)

图 3 显示了燃气表的 dTOF 随时间和温度的变化。

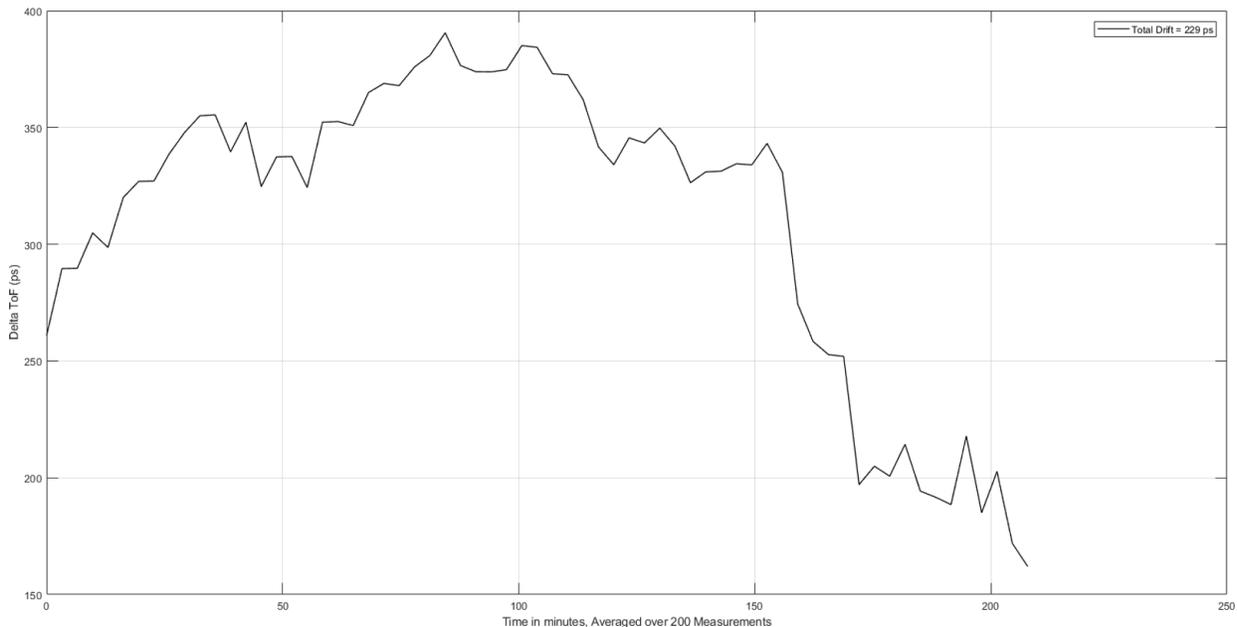


图 3. 燃气表应用的零流量漂移 (ZFD)

2. 漂移数据使用了什么平均值？测量速率是多少？

平均值取自 200 秒内完成的 200 次测量。测量速率为每秒测量 1 次。

3. 水表的 25ps 精度是基于测试得出的。估算这个值的理论是什么？

根据理论很难得出确切的数字，因为这个值取决于电子器件的阻抗匹配以及传感器阻抗的不匹配。理论讨论了不同阻抗、电子器件和传感器的关系和相互依赖性。

4. 水表和燃气表之间的精度差异很大（水表为 25ps，燃气表为 500ps）。对此有何解释？

燃气表漂移较高是因为介质性质的差异。与水相比，气体更具扩散性。此外，与水相比，气体中的声速也只有 1/5，因此气体比水的变化和漂移更大。

5. 在实际应用中，对 dTOF 的一个平均数据点花费 100 或 200 秒是不可接受的，因为这会延迟向仪表报告。此问题的解决方案是什么？

这取决于具体应用。每次测量都可以获得 dTOF 的瞬时值，并可以立即使用该值。应用不必进行任何平均即可使用该值。

应用场景可能会有所不同。

在流速不会快速变化且仪表制造商希望平滑测量值的应用中，应用可以对多个测量值进行平均。该数值是根据期望的流速变化选择的。

在流速变化较快的应用中，应用可以提高测量速率。对于水流量计和燃气表应用，MSP430FR604x MCU 可支持高得多的测量速率。

6. 是什么决定了 5ps 分辨率值？这个值有没有任何理论细节？

分辨率取决于系统的信噪比 (SNR)、ADC 的精度或位数以及用于根据相关项来计算 dTOF 的插值算法的准确度和精度。TI 根据包含这些参数的系统级仿真获得了此分辨率值。

7. 良好的阻抗匹配可降低零流量下的 dTOF 漂移。传感器如何实现良好匹配？哪些参数最重要？如何调整匹配？

由于互惠理论，零流量下的整体 dTOF 漂移取决于与传感器连接的电子器件的阻抗匹配。传感器（传感器 1 和传感器 2）在整个工作温度范围内的阻抗应相互匹配。传感器之间的匹配在一定程度上影响漂移。系统不要求传感器的阻抗与电子器件的阻抗精确匹配，只要它们处于合理的范围内即可。

- 水：对于已经过测试的传感器，[适用于水流量测量的超声波传感子系统参考设计](#)中提供的性能结果是使用 EVM430-FR6047 上的 200Ω 终端电阻器和电容获得的。
- 气：EVM430-FR6043 上的外部 AFE 旨在实现最佳阻抗匹配，已将其与各种传感器结合进行了测试，并因此获得了[适用于燃气流量测量的超声波传感子系统参考设计](#)中提供的结果。

8. 对 USS_runAlgorithm 函数输出的数据执行什么样的信号处理？在 GUI 中显示数据之前执行什么样的信号处理？

从 USS_runAlgorithm 或 USS_runAlgorithmsFixedPoint 函数接收 dTOF、AbsTOF 和 VolumeFlowRate (VFR) 结果后，应用在将结果发送到 GUI 之前仅将内部定点表示转换为浮点数。GUI 显示每次测量的结果。不会进行额外的信号处理。平均计算也是在 GUI 中完成以用于显示目的。图中显示了 USS_runAlgorithm 函数的原始结果以及平均值。

用于 GUI 中求平均的样本数量也可由用户控制。用户可以通过右键单击图形并选择“Graph Options”来访问“Waveform Options”控制面板。可在《超声波传感解决方案设计中心用户指南》的“统计信息”和“波形选项”部分中找到更多信息。

9. dTOF 和体积流速数据在设计中心的噪声很大，即使在零流量时也是如此。如何消除此噪声？

- GUI 根据输入自动调整缩放。如果 dTOF 变化不大，即使变化很小，信号也会看起来噪声很大。尝试更改流速以观察更明显的变化。
- 带有铁氧体的 USB 线缆可以在连接到 PC 时帮助降低噪声。
- 纯净的电源可以帮助减少噪声。
- 零流量漂移 (ZFD) 测试通常要求对仪表进行密封以尽可能减少水或空气流量。
 - 气：燃气表通常放在屏蔽罩内以减少噪声。在这种情况下，请将 GND 屏蔽连接到 EVM430-FR6043 GND。
 - 水：确保仪表充满水并且没有气泡。

10. MSP430FR6047 或 MSP430FR6043 可以更新流速的最快测量速率是多少？

USS 软件库适用于小于 10Hz 的慢测量速率。在修改了 .h 文件中一些参数的实验中，针对水流量计应用获得了接近 500Hz 的测量速率。

最快的数据处理速率取决于传感器之间的间隔、接收捕获持续时间以及上游 (UPS) 和下游 (DNS) 触发之间的间隔。针对水流量计应用进行了一项测试；该测试将 1MHz 传感器置于 **Jiakang** 管内，传感器之间的间隔为 73μs，接收捕获持续时间为 40μs，UPS 与 DNS 间隔为 150μs。该测试得出的总测量时间约为 2ms (MCLK = 8MHz)。标准软件不是为此类应用设计的，因此可以进行额外的优化：

- 可在下一次测量触发和捕获正在进行时完成前一次测量的计算。当前的软件以串行阻塞方式实现这一点。
- MCLK 可以设置为 16MHz，这应该会减少计算时间。当前软件使用 8MHz 的 MCLK。

对于水流量计和燃气表应用来说，最快的数据处理速率是不同的，这是因为传感器激励频率的固有差异、两个应用所需的脉冲数量的差异、上游和下游触发之间间隔的差异、捕获持续时间的差异以及处理时间的差异。

11. 是否有公式或系统方法进行校准并确定“仪表常数”值？

一般程序是使用参考仪表来校准仪表常数，从而匹配产品需要支持的流速范围内测量的流速：

- a. 使用标称仪表常数，并在需要支持的整个流速范围内以不同的流速运行一系列流量测试。使用参考仪表获取流速值，并记录参考仪表上的流速以及 MSP430FR604x 设计中心 GUI 上测量的体积流速。
- b. 通常，如果 TI 设计中心 GUI 显示使用仪表常数 M1 测量的 X 流速，而预期值为 Y，则新仪表常数 $M2 = M1 \times (Y/X)$ 。对于多个流速条件下的测量 Y_i 和 X_i ，应计算 $\{Y_i\}$ 和 $\{X_i\}$ 之间的线性拟合以获得 M2。

根据 `Maximum_Flow_rate_supported` 和 `Minimum_Flow_rate_supported`，可能需要在整个范围内使用多个仪表常数。在整个范围内需要使用的仪表常数数量取决于最终的精度要求。例如，如果产品要求的精度为 1%，则可能需要在整个范围内使用四个仪表常数。如果放宽到 3% 的精度要求，两个仪表常数可能就足够了。

12. 如果测试期间水温发生变化，超声波流速测量结果是否会发生变化？

体积流速 (VFR) 计算包括由于水温波动引起的声速变化。绝对飞行时间测量 (AbsToF) 与声速成反比。可以在网络研讨会 [计量应用中最低流速的高精度和精确感应](#) 中找到更多信息。该网络研讨会介绍了可消除对声速“c”和温度的依赖性的推论。[公式 1](#) 显示了该网络研讨会的相关公式。公式中的第二行取决于 AbsToF (T_{12} 、 T_{21})，而不取决于“c”。因此，测得的体积流速与温度无关。

Formula for average flow velocity:

$$v = \frac{L}{2 \cos \phi} \left(\frac{1}{T_{12}} - \frac{1}{T_{21}} \right)$$

$$v = \frac{L}{2 \cos \phi} \left(\frac{T_{21} - T_{12}}{T_{21} T_{12}} \right)$$

$$v \propto T_{21} - T_{12} \rightarrow \Delta T$$

Calculating the Volume:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \frac{L}{2 \cos \phi} \left(\frac{\Delta T}{T_{21} T_{12}} \right)$$

$$= \underbrace{\frac{\pi D^3}{4 \sin(2\phi)}}_{\text{Area}} \underbrace{\left(\frac{\Delta T}{T_{21} T_{12}} \right)}_{\text{Flow velocity}} \quad (1)$$

13. 对于水流量计，MSP430FR6047 和 MSP430FR6043 MCU 能否支持高达 40gpm (8800lph) 的流速？MSP430FR6047 和 MSP430FR6043 MCU 支持的最大流速是多少？

[《MSP430FR6047 和基于超声波软件的水流量计测量结果》](#) 表明附带 USS 软件库和示例应用程序代码的 MSP430FR6047 MCU 可以支持 40gpm (8800lph) 的流速。使用 MSP430FR6047 MCU 获得的结果也适用于 MSP430FR6043 MCU，因为底层 USS 模块与相关的水流量计应用相同。客户还在 DN45 管道中测试了大于 130gpm 的流速，这相当于 DN25 管道中的 40gpm。支持的最大流速取决于管道尺寸。现有软件可支持包含多个传感器周期的 DToF 的流速。例如，采用 1MHz 传感器时，3 个传感器周期相当于能够支持等于 3000ns DToF 的流速。

14. 哪些传感器适用于 MSP430FR604x 解决方案？

以下制造商的传感器应该能用于基于 MSP430FR604x 的超声波解决方案。水流量计已使用 1MHz 和 2MHz 传感器进行了测试。燃气表已使用 200kHz 至 500kHz 的传感器进行了测试。

- Audiowell: [热量计黄铜管型号 HS0003-001](#) 和 [超声波流量传感器型号 T/R975-US0014L353-01](#)
- Jiakang: [超声波流量传感器型号 PSC1.0M020100H2ADX-B0](#)
- Hurricane: [1MHz 超声波流量计传感器型号 TL1000](#) (水) 和 [用于燃气流量计的超声波传感器 - TG020012](#) (气)
- CeramTec: [用于公用事业管理的超声波流量传感器](#)。其中包括用于水 (或其他液体) 的 1MHz 和 2MHz 传感器以及用于气的 200kHz 和 400kHz 传感器。

对于典型的水流速率，1MHz 和 2MHz 传感器应该适合此解决方案，而且无论具体的传感器型号如何，应该都能提供良好的性能。

同样，对于典型的燃气流量计应用，上面列出的 200kHz 和 400kHz 传感器应该能提供良好的性能。MSP430FR604x 器件中的 USS IP 块支持 133kHz 至 2.5MHz 的传感器频率。

15. 在不同的 MSP430FR604x MCU 或传感器对之间，dTOF 有多大变化？

对于水流量计，不同 MCU 之间或不同传感器对之间已经看到的 dTOF 变化大约为几十皮秒数量级。这些观察结果是使用 EVM430-FR6047（在传感器和 MSP430FR6047 MCU 之间的路径中没有额外的外部组件）获得的。

测量是使用[超声波传感水表前端参考设计](#)完成的，该设计支持两对传感器并使用外部多路复用器和增益放大器。使用该电路板已观察到数百皮秒级别的 DTof 变化。该级别完全取决于不同多路复用器或放大器之间的路径变化。

16. 在计算增量飞行时间 (DTof)、绝对飞行时间 (AbsToF) 和体积流速 (VFR) 之前，是否可以对接收到的 ADC 捕获信号进行滤波？

在某些情况下，根据传感器特性，可能需要对 ADC 输出端接收到的信号进行滤波以消除干扰源。可以通过启用配置参数 `USS_Algorithms_User_Configuration::enableFilter` 来完成滤波。滤波器系数由 `USS_userConfig.h` 中的 `USS_SW_LIB_APP_FILTER_COEFFICIENTS` 指定，并在 `USS_userConfig.c` 中的 `USS_Algorithms_User_Configuration::filterCoeffs` 中加以填充。默认滤波器根据设计可用于 1MHz 传感器频率和 400kHz 带宽，且系数由 Matlab 中的 `firpm` 函数生成。以下 Matlab 代码对应的采样频率为 3.6Msps:

```
N = 18; fs = 3600000; Fstop1 = 600000; Fpass1 = 800000; Fpass2 = 1200000; Fstop2 = 1400000;
Wstop1 = 1; Wpass = 10; Wstop2 = 1;
filterCoeffs = [firpm(N,[0 Fstop1 Fpass1 Fpass2 Fstop2 Fs/2]/(Fs/2), [0 0 1 1 0 0],[Wstop1
Wpass Wstop2]) 0];
```

上面的“filterCoeffs”变量在 `USS_userConfig.h` 中使用之前需要转换为定点表示。可以通过更改应用程序软件代码来修改滤波器大小和滤波器特性。

17. 是否有配置设置可用于测量高流量？使用此选项是否会改变电流消耗？

`USS_userConfig.h` 中的 `USS_ALG_DTOF_COMPUTATION_MODE` 的默认设置为 `USS_ALG_DTOF_COMPUTATION_OPTION_ESTIMATE`。此设置支持非常高的流速。此设置可支持包含多个传感器周期的增量飞行时间 (DTof) 的流速。例如，对于 1MHz 的传感器频率，3 个传感器周期相当于 3 μ s。1.5 μ s 的 DTof 等于 DN25 管道上约 40gpm（或 880lph）的流速。

对于 `USS_ALG_DTOF_COMPUTATION_MODE`，使用此设置时的电流消耗在很宽的流速范围内通常是相似的。在参考设计文档[《适用于水流量测量的超声波传感子系统参考设计》](#)中提供的电流测量是在零流量条件下执行的。

18. 可达到 1% 精度的最小流量是多少？

这通常取决于水流量计的精度等级。EN ISO 4064-1:2014:11 标准定义了 1 级仪表：在给定的流速范围内，对于 0.1°C 至 30°C 的温度，此等级的精度要求为 1%。低于该流速范围时，这些仪表具有更宽松的 3% 精度要求。例如，精度要求为 1% 时，流速范围可介于 0.03 至 15gpm（6.6lph 至 3300lph）的流速范围之间。这一特定示例在该指定流速范围内的最高和最低流速之间的比率为 500。

显然，流速范围的实际值取决于管道的尺寸。以上仅是关于精度要求标准的某些方面的示例。

1.3 软件功能以及为支持其他特性或功能而可能需要进行的修改

1. 我的软件如何获得接收到的 ADC 波形的最大幅度？

在 USSLibGUIApp.c 中的函数 USS_startUltrasonicMeasurement() 或 USS_startLowPowerUltrasonicCapture() 中，添加一个函数来搜索捕获的下游和上游信号的最大值和最小值。捕获的波形存储在 gUssSWConfig.captureConfig.pCapturesBuffer 中。如 USS 软件库的文档中所示，内存缓冲区的结构为 $\text{sampleSize} \times \text{numberOfAcquisitions} \times 2$ 。numberOfAcquisitions 对于上游通常为 2 或 1，而对于下游为 1。

此附加函数可以使用调试面板将最大值和最小值发送到 GUI，也可以重用应用程序中的值。

如果应用程序字段中需要此功能，并需要对周期数进行优化，则也可以使用 LEA 来实现此功能。如需详细了解 LEA 以及如何添加代码来实现在 LEA 上运行的函数，请参阅《MSP430FR6047 超声波传感设计中心用户指南》和《对低功耗加速器的信号处理能力进行基准测试》。

2. 超声波软件库是否支持使用外部触发器而不使用软件触发器进行测量？

在超声波软件库版本 02.10.00.07 或 02.20.00.xx 中，仅由软件使用 USS_startUltrasonicMeasurement() 或 USS_startLowPowerUltrasonicCapture() 启动测量。

MSP430FR6047 或 MSP430FR6043 MCU 中的 USS 模块支持 TA1 CCR2 输出的硬件触发器（可用于启动测量）。要使用硬件触发器，CPU 必须处于 LPM0 或工作模式，从而确保 USS 模块已通电。请参阅《用于水计量应用的 MSP430FR604x(1)、MSP430FR603x(1) 超声波传感 MSP430™ 微控制器》数据表中的 ASQ 触发信号连接表，了解更多信息。另请参阅《MSP430FR58xx、MSP430FR59xx 和 MSP430FR6xx 系列用户指南》中的 ASQ 框图。

必须修改库软件以支持该硬件触发器。可以使用已经提供的源代码作为起点来完成此修改。

3. 在超声波测量或 dTOF 计算过程中是否需要禁用中断？如果需要，禁用它们的持续时间是多长？

仅在 ussSWLib/source/common/ussSwLibCommonUSS.c 文件中的 void commonWaitForconversion(USS_capture_power_mode_option mode) 函数中禁用中断。在从函数返回之前启用中断。根据基准测试，禁用中断的时间大约为 66 个 MCLK 周期，在 $\text{MCLK} = 8\text{MHz}$ 时相当于大约 $8.25\mu\text{s}$ ，而在 $\text{MCLK} = 16\text{MHz}$ 时相当于大约 $4.125\mu\text{s}$ 。

1.4 LCD 显示屏、超声波传感设计中心 GUI 显示和配置

1. 我了解配置面板中的“仪表常数”参数。如何计算该参数？有什么可参考的文档吗？

仪表常数参数用于将仪表校准到所需的流速。例如，假设仪表必须测量 1 加仑/分钟范围内的流速。

- a. 设置一个与设计的仪表串联的参考仪表。
- b. 使用参考仪表验证 1gpm 流速。
- c. 在超声波传感设计中心 GUI 中，查看“Waveforms”选项卡中的“Volume Flow Rate”窗口，然后查看设计的仪表所记录的流速。
- d. 调整“Meter Constant”值，直到设计的仪表测量到 1gpm 的流速。

TI 计划发布 GUI 的更新来自动执行此过程。在此更新可用之前，建议使用如上所述的手动方法查找正确的仪表常数值。

2. 可应用于仪表常数的最大值是多少？是 19999999.00 吗？我使用系统以 20lph 的恒定流速测试了我的应用。仪表常数设置为 19999999.00 时，我在 LCD 和 GUI 中仅观察到 7.5lph。我还需要调整其他参数吗？或者我需要以更高的流速校准它吗？

由于软件库中的定点实现方式，可应用于仪表常数值的最大值为 22742000。有关更多信息，请参阅《MSP430FR6047 超声波传感设计中心用户指南》。

可通过两种方法校正检测到的流量计流速。

- 将单位更改为加仑/分钟。随后应该会看到大约 0.088gpm。
- 若要保留以 lph 为单位的测量值，必须更改应用程序代码并对体积流速采用 10 倍比例因子。

将仪表常数设置为 $(20/7.5) \times 19999999$ 将对校准进行校正，但此值大于最大值 22742000。对体积流速采用 10 倍比例因子可让仪表常数变为 $(20/75) \times 19999999$ ，此值在可接受的仪表常数范围内。在 hmi.c 文件中，将体积流速乘以 10。在 HMI_PostAlgorithm_Update 例程中，请使用

```
DC_User_Params->plot_vol_flow_rate = (float) 10.0*(alg_results_float.volumeFlowRate);
```

而不是

```
DC_User_Params->plot_vol_flow_rate = alg_results_float.volumeFlowRate;
```

3. PGA 的合理设置是多少？

设置的 PGA 值应使 ADC 波形的最大值约为 1000 个代码（针对 200kHz 至 1MHz 之间的传感器频率）。这相当于 6.25dB 的退避。

如果在 USS_App_userConfig.h 中使用 #define USS_APP_AGC_CALIBRATE 启用了自动增益控制 (AGC) 校准 API，那么也可以通过在 USS_userConfig.h 中设置 #define USS_AGC_CONSTANT 60 来达到此目的。这适用于使用 1MHz 传感器的水流量计和使用激励频率在 200kHz 至 500kHz 之间的传感器的燃气表。

对于 ADC 波形的最大值，2MHz 传感器的值为 650 个代码，相当于大约 10dB 的退避。如果启用了 AGC，则可以通过设置 USS_AGC_CONSTANT = 56 来达到此目的。

4. 需要专门针对 2MHz 传感器修改哪些配置设置？

对于 2MHz 传感器，设置的 PGA 应使 ADC 波形的最大值约为 650 个代码。如果启用了 AGC，则可以通过设置 USS_AGC_CONSTANT = 56 来达到此目的。此外，请在 USS_userConfig.h 中设置 #define USS_ALG_RATIO_OF_TRACK_LOBE 0.2。此值在 Algorithms_API 中用于计算绝对飞行时间 (AbsToF)。

5. 为什么对 1MHz 和 2MHz 传感器使用不同的 USS_AGC_CONSTANT 值？在使用 2MHz 传感器的情况下，更改此值是否会限制 AGC 将增益从 60dB 变为 54dB 的范围？在燃气表应用中使用 200kHz 至 500kHz 传感器频率时是否存在任何限制？

为 2MHz 传感器设置 USS_AGC_CONSTANT = 54 的原因是芯片和 SDHS 上的内部 PGA 支持 2MHz 信号的较低信号电平（与 1MHz 信号相比且在信号开始失真之前）。2MHz 信号的这一较低设置导致在 ADC 输出端具有大约 600 到 700 个 ADC 代码，这会将 2MHz 传感器的可用 ADC 范围减小 1 位。

对于使用传感器频率 200kHz 至 500kHz 的燃气表，USS_AGC_CONSTANT 可以相同，因为片上 SDHS 的频率响应在这些较低频率之间是相似的。有关 SDHS 模块的频率响应的更多信息，请参阅《MSP430FR58xx、MSP430FR59xx 和 MSP430FR6xx 系列用户指南》的第 22.2.3 节（数字输出）。

6. 可以在发送期间应用 RX 偏置，还是应该在发送之后、对输入信号进行采样之前应用 RX 偏置？这是《MSP430FR58xx、MSP430FR59xx 和 MSP430FR6xx 系列用户指南》中的“六个时间标记事件”部分的参考内容。

RX 偏置也可与 TX 偏置同时应用。

在水表应用中，TI 提供的示例代码对所有器件版本 B MSP430FR6047 MCU 使用的 $TMC = 0$ ，这可确保同时应用 TX 和 RX 偏置。

在燃气表应用中，TI 提供的默认配置会在应用 TX 偏置后 $200\mu s$ 并且正在应用 TX 激励脉冲时应用 RX 偏置。

7. 使用水表项目中的仪表校准功能或超声波传感设计中心 GUI 中的“Calibration”面板时有哪些注意事项？

对于仪表校准功能，在超声波传感设计中心 GUI 中，“Parameters”面板上的“Volume Flow Rate Calibration Ranges”配置参数、“Waveforms”面板上的“Adv Calibration Table”按钮以及“Calibration”面板都是相互依赖的。

按照《USS 设计中心用户指南》的“校准”部分中的说明，在多个范围中校准仪表。在 GUI 中的“Calibration”面板内填充每个范围的正确斜率和偏移量后，执行以下步骤：

- a. 断开仪表与 GUI 的连接。
- b. 导航到“Waveforms”选项卡，然后单击“Adv Calibration Table”按钮。
- c. 生成标头并使用更新后的头文件对器件进行编程。

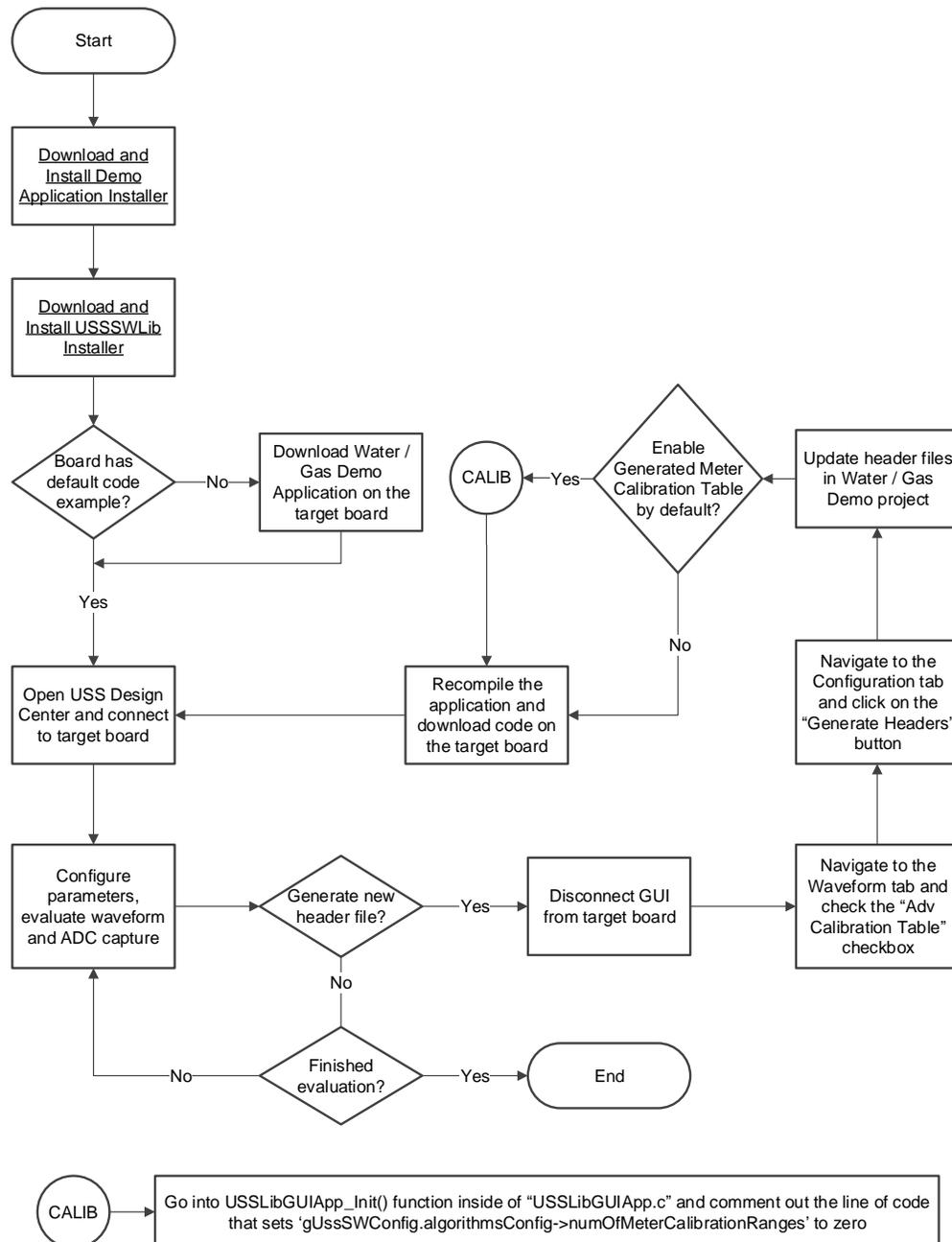
注：默认情况下，在水表演示应用中会禁止将仪表校准表用于多个范围，允许用户在 GUI 的“Waveforms”选项卡中将其激活。

为了能够在不连接 GUI 的情况下默认使用生成的仪表校准表，应用程序用户必须编辑 `USSLibGUIApp.c` 中的 `USSLibGUIApp_Init()` 函数，并注释掉将 `gUssSWConfig.algorithmsConfig->numOfMeterCalibrationRanges` 设置为零的代码行。

8. 用户如何调整在超声波传感设计中心 GUI 中用于计算统计数据的数据的样本数量？

用户可以通过右键单击图形并选择“Graph Options”来访问“Waveform Options”控制面板。可在《超声波传感解决方案设计中心用户指南》的“统计信息”和“波形选项”部分中找到更多信息。图 4 中的流程图应该有助于改善预期的使用情况。

Use Case: Customer purchased EVM or has custom PCB with TI's USS chip



NOTE: 默认情况下，在水表演示应用中会禁止将仪表校准表用于多个范围，允许用户在 GUI 的“Waveforms”选项卡中将其激活。

图 4. 仪表校准流程图

2 参考文献

1. [MSP430 MCU 超声波设计中心](#)
2. [MSP430FR6047 超声波感应评估模块](#)
3. [《EVM430-FR6047 硬件指南》](#)
4. [《适用于水流量测量的超声波传感子系统参考设计》](#)
5. [《MSP430FR58xx、MSP430FR59xx 和 MSP430FR6xx 系列用户指南》](#)
6. [MSP430FR6043 超声波传感评估模块](#)
7. [《EVM430-FR6043 硬件指南》](#)
8. [适用于燃气流量测量的超声波传感子系统参考设计](#)

修订历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

Changes from May 14, 2018 to January 30, 2019	Page
• 更改了文档标题	1
• 通篇为 MSP430FR6043 及其相关的 EVM 和参考设计添加了信息；添加了水和燃气计量差异的信息	1
• 在 1.1 节（基本设置）中的问题 1 下方添加了列表项“也可以尝试重置器件”	1
• 在 1.1 节（基本设置）的步骤 4 中添加了以“对于水流量计应用...”开头的列表项	2
• 添加了图 1：典型的 ADC 捕获	3
• 添加了图 3：燃气表应用的零流量漂移 (ZFD)	5
• 添加了以“用于 GUI 中求平均的样本数量...”开头的段落	6
• 添加了以“对于水流量计和燃气表应用来说...”开头的段落	7
• 更新了“哪些传感器适用于 MSP430FR604x 解决方案？”的答案	8
• 更新了“是否有配置设置可用于测量高流量？”的答案	9
• 添加了以“这适用于使用...”开头的句子	11
• 在 1.4 节（LCD 显示屏、超声波传感设计中心 GUI 显示和配置）的问题 5 下方添加了以“对于使用传感器频率...”开头的段落	11
• 在 1.4 节（LCD 显示屏、超声波传感设计中心 GUI 显示和配置）的问题 6 下方添加了两个段落	12
• 添加了问题“使用水表项目中的仪表校准功能或超声波传感设计中心 GUI 中的‘Calibration’面板时有哪些注意事项？”	12
• 添加了问题“用户如何调整在超声波传感设计中心 GUI 中用于计算统计数据的样本数量？”	13

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（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，不保证没有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、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司