

Mubina Toa, Akeem Whitehead

摘要

超声波传感器使用高于 20 kHz 范围的声波来检测邻近物体，类似于蝙蝠使用回声定位在不撞到障碍物的情况下进行穿梭。在汽车领域，超声波传感器普遍用于 ADAS (高级驾驶辅助系统) 应用，特别是用于泊车辅助系统，其中 4-16 个传感器用于在停车时检测障碍物。在工业领域，超声波传感器用于机器人和其他需要可靠地感测物体是否存在、接近情况或位置的应用。本应用报告讨论了什么是超声波飞行时间感测，以及系统注意事项和影响超声波感测的其他因素。

内容

1 什么是超声波飞行时间感测？	2
1.1 超声波原理.....	2
1.2 为何使用超声波感测？.....	2
1.3 超声波与其他感测技术相比如何？.....	2
1.4 典型的超声波感测应用.....	3
2 超声波系统注意事项	5
2.1 超声波系统简介.....	5
2.2 超声回波和信号处理.....	5
2.3 传感器类型.....	7
2.4 传感器拓扑.....	8
2.5 传感器频率.....	8
2.6 传感器驱动 (变压器驱动和直接驱动) 和电流限制.....	9
2.7 脉冲计数.....	9
2.8 最小检测范围.....	9
3 哪些因素会影响超声波感测？	10
3.1 传输介质.....	10
3.2 声阻抗.....	10
3.3 雷达截面.....	11
3.4 环境条件 (温度、湿度、碎屑)	12
3.5 器件选择.....	13
4 其他资源	14
5 修订历史记录	14

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 什么是超声波飞行时间感测？

本节讨论了声波的物理特性以及在各种应用中使用超声波传感器的优势。

1.1 超声波原理

超声波传感器可以在无需实际接触的情况下测量距离并检测物体的存在。它们通过生成和监测超声回波来实现这一点。根据传感器和物体的特性，空气中的有效距离在几厘米到几米之间。超声波传感器（或换能器）生成并发射超声波脉冲，而传感器视场内的物体会将这些脉冲反射回传感器。

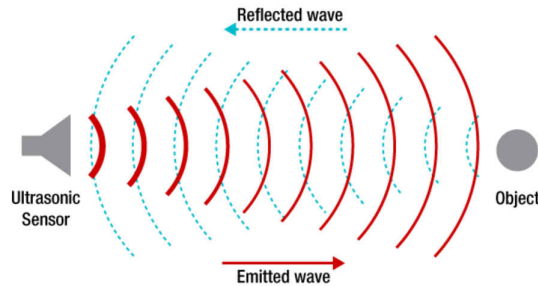


图 1-1. 超声波飞行时间测量

超声波传感器是一种压电式换能器，它能够将电信号转换为机械振动，以及将机械振动转换为电信号。因此，在单基地方法中，超声波传感器是一个收发器，在单一频率下同时作为扬声器和麦克风工作。

传感器能够捕获发射回波和接收回波之间的时间差。声速是一个已知变量，因此捕获的往返时间可用于计算传感器和物体之间的距离。[方程式 1](#) 显示了超声波距离计算。

$$d_{\text{OneWay}} = \frac{t_{\text{RoundTrip}} \times V_{\text{Sound}}}{2} \quad (1)$$

这种超声波感测方法基于声音传播时间进行飞行时间测量。请注意，通过空气的声速随温度而变化。在 20°C (68°F) 的干燥空气中，声速为 343 m/s 或 2.91 秒传播一公里。更多有关声速和温度之间关系的信息，请参阅[节 3.4](#)。

1.2 为何使用超声波感测？

超声波传感器可以检测各种材料，无论其形状、透明度或颜色如何。超声波感测的唯一要求是目标材料为固体或液体。这可实现对以下材料的非接触式检测：

- 金属
- 塑料
- 玻璃
- 木材
- 石块
- 沙
- 油
- 水
- 其他硬质、非吸声材料

这些材料能够通过空气将声音反射回传感器。某些物体会更难检测，如引导回波偏离传感器的倾斜表面，或者海绵、泡沫和软衣服等可穿透目标。它们会吸收更多的反射超声波能量。

1.3 超声波与其他感测技术相比如何？

红外 (IR) 传感器具备高分辨率、低成本和快速响应时间，因而可用于障碍物检测。然而，由于红外传感器的非线性特征和对反射特性的依赖性，在实施之前需要了解其表面特性。不同的表面材料对红外能量的反射和吸收不同，因此需要对目标材料进行识别，以实现精确的距离测量。

光学感测技术的原理与超声波技术相似。光学技术使用 LED 发射光波并检测飞行时间，然后根据光速原理进行转换，并未使用声波。光速比声速快得多，因此光学感测比超声波快。然而，它在明亮的环境照明条件和烟雾或雾气环境中确实存在局限性，因为这些环境使光接收器难以检测到发射的光。光学感测在探测玻璃或水等透明材料方面也有局限性。光会穿过这些材料，而超声波会反弹。

基于雷达和激光雷达的技术旨在提供多点数据阵列，而不是单一的飞行时间测量。这使得数据点能够高度精确，并且能够绘制和区分环境中的微小时刻。然而，功能的增加使得这些系统比前面提到的其他解决方案要昂贵得多。

表 1-1 总结了 PIR、超声波、光学 ToF 和毫米波之间的差异。

表 1-1. 接近感测技术比较

	无源红外	超声波	光学 ToF	毫米波
检测范围	0.1 至 5 米	0.1 至 10 米	0.01 至 20 米	0.01 至 100+ 米
分辨率	几厘米	几毫米 (取决于传感器)	几毫米 (取决于光学器件)	几毫米 (取决于距离)
视场	高达 180°	5° 至 120°	0.15° 至 120°	5° 至 160°
电流消耗	<5 mA	72 mW 至 336 mW (主动) 2 mW - 9 mW (待机/睡眠)	100 μW 至 200 mW (主动) ~ 80 μW (待机/睡眠)	0.5W 至 1.5W
解决方案/模块尺寸	中	中	小	大
美观度	需要镜头来实现距离和大视场	暴露于中远距离	隐藏在深色玻璃后	可穿透大多数材料 (非金属)
测量介质速度	红外光 (由物体发出)	声音	光	光
单传感器系统成本 (US\$)	< \$1	\$1 - \$3	\$1.5 - \$4	\$18 - \$26
主要差异化特性	<ul style="list-style-type: none"> 在高温环境和拐角区域中性能受限 对慢动作不敏感 容易出现误报 	<ul style="list-style-type: none"> 有效检测固体和透明玻璃表面 能够检测充满烟雾/气体的环境中的物体 	<ul style="list-style-type: none"> 目标定位 (多达 3 个检测区域) 精确的远距离测量 	<ul style="list-style-type: none"> 提供距离、速度和角度数据 可穿透非金属材料 智能物体差异化

若要查看 TI 的完整接近感测表，请参阅 [TI 的接近感测技术信息图](#)。

1.4 典型的超声波感测应用

共有三种类型的超声波感测应用：

- **距离测量**：在每个飞行时间事务中，定期记录一个或多个物体移向或移离传感器的距离。距离更新的速率取决于传感器在回波侦听模式下等待的时间。传感器等待回波的时间越长，可检测范围就越远。

示例：超声波泊车辅助传感器、机器人中的障碍物避开传感器、液位变送器

拓展阅读：[机器人割草机的超声波地形类型和障碍物检测技术手册 \(SLAA910\)](#)。

- **接近检测**：超声回波特征的显著变化对应于感测环境的物理变化。这种二元超声感测方法对范围的依赖性较小，而更依赖于回波特征的稳定性。

示例：机器人中的悬崖和边缘检测、物体检测、停车场中的车辆检测、安全以及监控系统

拓展阅读：[将超声波技术用于智能泊车和车库门系统技术手册 \(SLAA911\)](#)。

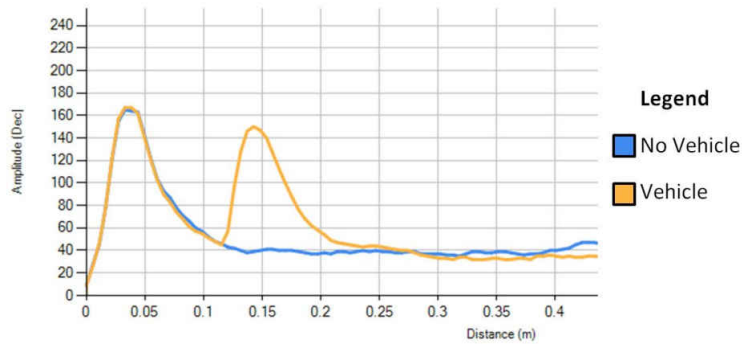


图 1-2. 车辆存在的回波响应

- **表面类型检测**：使用原始超声回波数据，而不是飞行时间测量，可以通过超声波测量间接地测量材料的柔软度和硬度。超声波从较硬的表面反弹到传感器时损耗较小，从而提供更强的回波响应。较软的物体（如泡沫和地毯）会吸收许多声波，并提供较弱的回波响应。

示例：扫地机器人中的地板类型检测，自动割草机中的地形类型检测

拓展阅读：[自动扫地机器人的超声波地板类型和悬崖检测技术手册 \(SLAA909\)](#)。

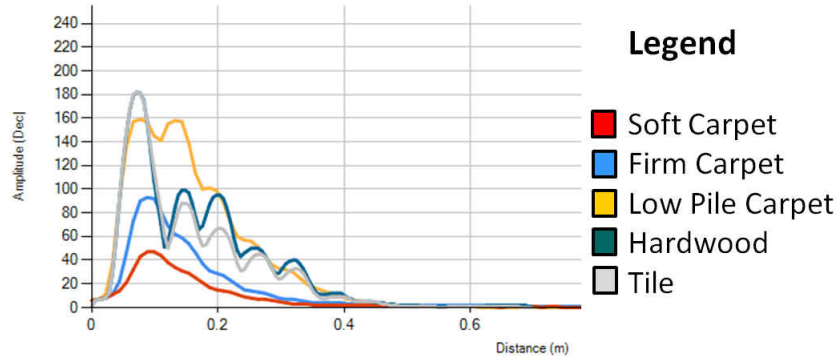


图 1-3. 超声波表面类型检测

2 超声波系统注意事项

超声波系统包括：

- 换能器或超声波传感器
- 模拟前端 (AFE)，用于驱动发射机并调节接收到的信号
- 模数转换器 (ADC)
- 额外的信号处理能力，使测量的数据智能化

模拟前端部分负责驱动传感器，以及放大和过滤接收到的回波数据，以为进一步处理做好准备。信号处理要么完全由分立式和 AFE 解决方案中的控制单元完成，要么在 ASSP 解决方案中通过其芯片内智能特性在控制单元与集成 DSP 之间分担。

2.1 超声波系统简介

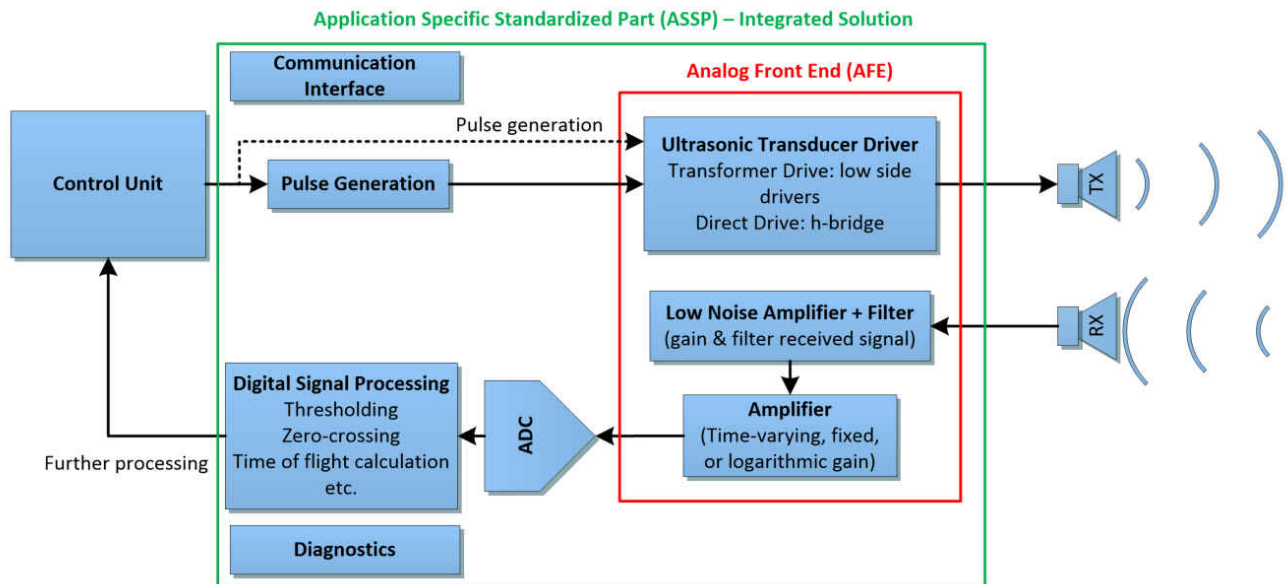


图 2-1. 超声波系统级方框图

超声波系统可以：

- 是完全分立的 (由放大器、滤波器、二极管和其他无源器件组成)
- 是集成的 AFE
- 是一个应用特定的标准化部件 (ASSP)，在芯片上具有一定的信号处理能力
- 与片上 MCU 完全集成

请注意，传感器选择是超声波模块整体性能的关键因素。本节的其余部分讨论了如何根据传感器的类型、拓扑和频率选择传感器，以及可以使用哪些优化技术来实现更好的性能。

对于 TI 推荐的可与 TI 超声波器件兼容的传感器列表，请下载 [PGA460 变压器和传感器列表 zip 文件](#)。

2.2 超声回波和信号处理

TI 建议以正弦波或方波的中心频率驱动传感器，以实现更佳效果。大多数集成解决方案都有一个输出驱动器，它由低侧驱动器组成 (用于在变压器驱动情况下驱动变压器)；或由采用 h 桥配置的 FET 组成 (用于直接驱动解决方案)。

传感器以其谐振频率发出回声后，系统必须侦听传感器视场中的物体产生的回波。超声波系统通常会过滤回波，以去除噪声并在信号进入 ADC 之前对其应用增益。对超声波系统应用增益的一些方法如下：

- **数字增益/固定增益**：对整个超声回波应用固定增益。

- **时变增益**：所应用的增益取决于物体的远近。通常，时间上越晚的物体产生的回波响应越弱，时间上越早的物体产生的回波响应越强。为了解决这一问题，并防止近距离信号饱和并能够识别更远的物体，用户可以选择对其系统应用增益，具体来说就是在较早的时间应用较小的增益，在较晚的时间应用较大的增益。这使用户能够根据系统需求灵活地配置增益。
- **自动增益控制/对数放大器**：对数放大器方法是一种在处理高振幅和低振幅输入信号时实现自动增益控制的方法。对数放大器根据对数刻度对输入信号应用增益，这有助于从微弱信号中获得更强的回波响应，同时也适当地对强信号应用增益但要防止饱和，类似于时变增益方法。虽然时变增益方法取决于物体在时间上的位置，但对数放大器取决于输入信号本身的实际回波，而不依赖于时间。

设计人员可以检查过零频率数据，以验证回波是否为传感器的回波。这也可用于检测多普勒频移（即发射的声波频率的变化），以检测运动及其方向。

一旦对返回信号进行了适当滤波和增益，就可以将数据发送到 ADC 以进行进一步的信号处理。图 2-2 显示了来自 ADC 输出的信号。

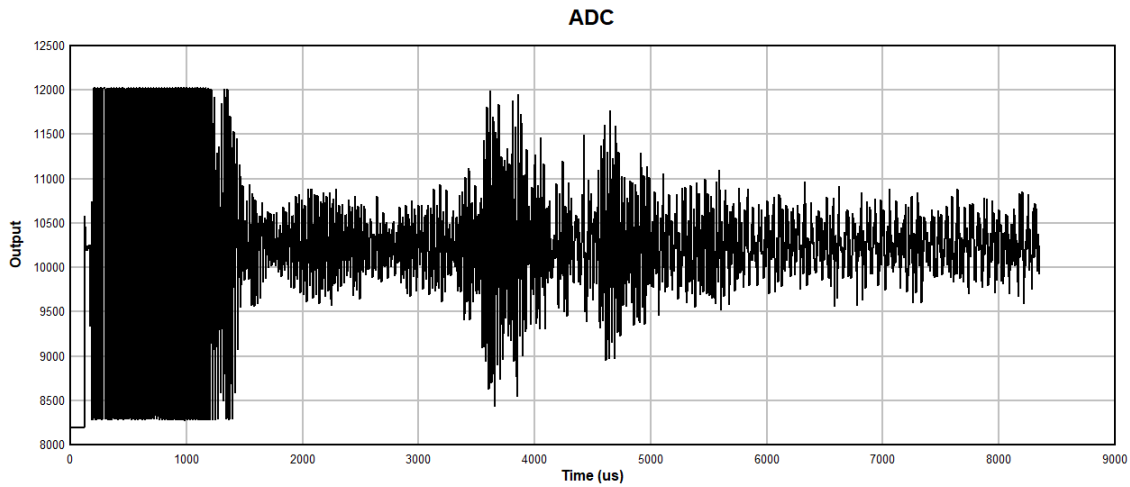


图 2-2. 来自 ADC 的典型输出

信号经过数字化处理后，就可以进入数字信号处理器 (DSP) 或 MCU 以进行进一步处理。首先，它通过带通滤波器来减少任何带外噪声。

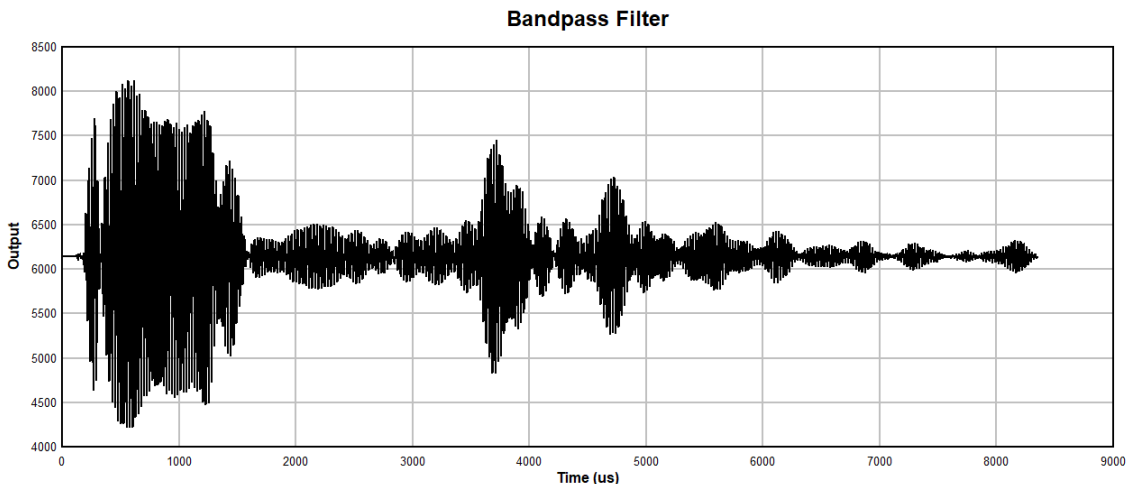


图 2-3. 来自带通滤波器的典型输出

下一步是对信号进行整流，以提取信号的绝对值，如图 2-4 所示。

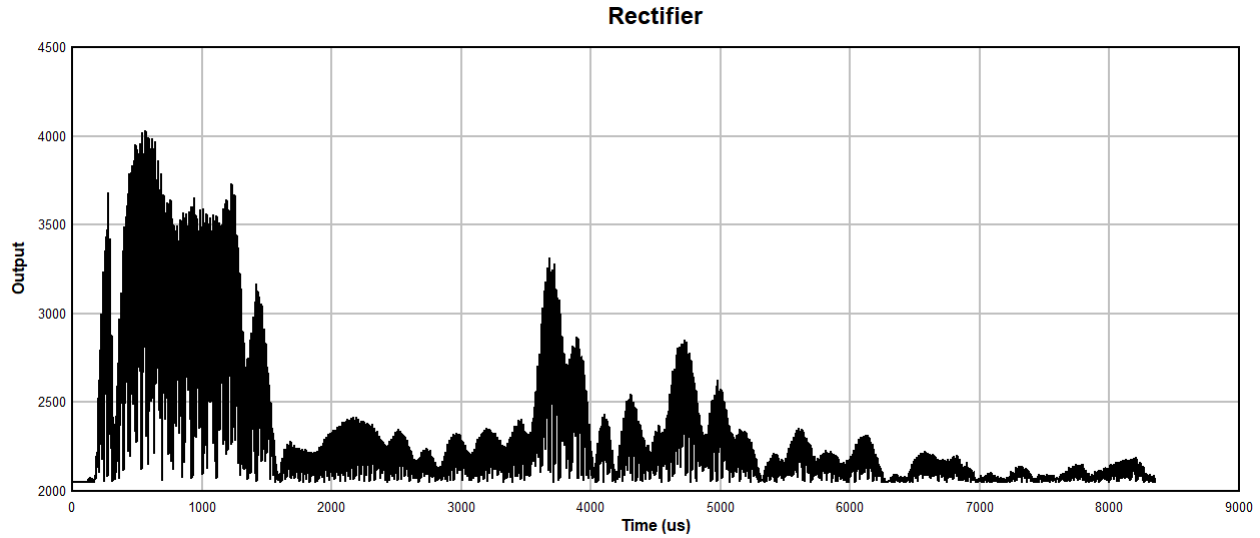


图 2-4. 来自整流器的典型输出

整流后，通常会在应用低通滤波器之前保持峰值，以确保已整流信号的峰值振幅不会被滤除。通过结合使用峰值保持功能和低通滤波器，可生成解调输出，如图 2-5 所示。这样，就可以轻松地应用阈值来进一步定制信号以消除噪声，并提取飞行时间数据以及回波宽度和振幅信息。解调后的信号也称包络信号。

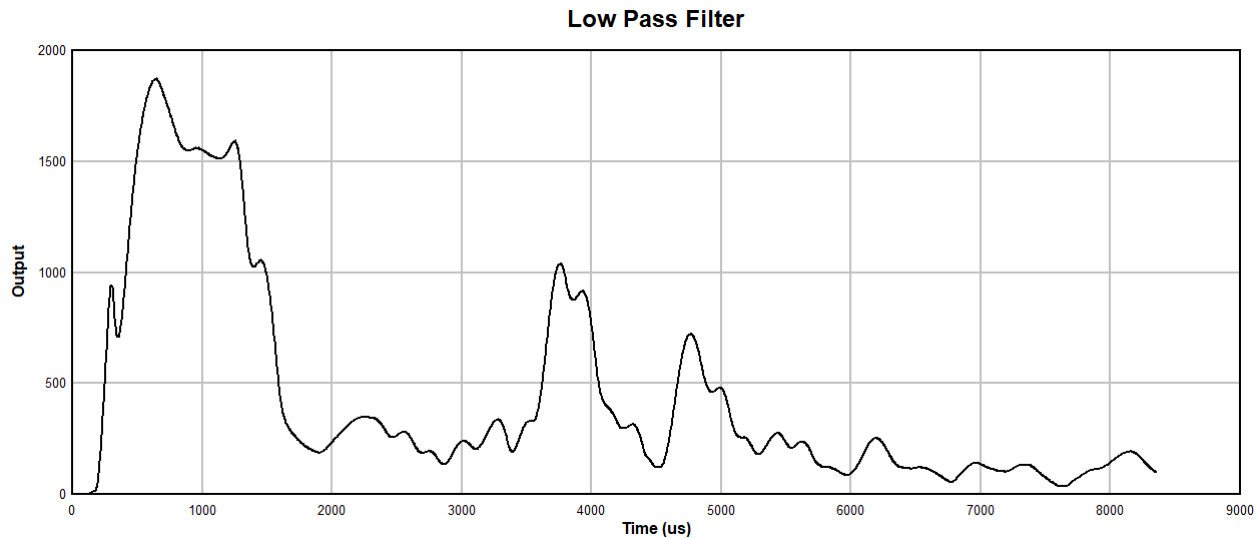


图 2-5. 来自低通滤波器的典型输出

2.3 传感器类型

传感器有两种类型：密闭式和开放式。虽然开放式传感器成本较低，需要较小的驱动电压即可实现更大声压级 (SPL)，但它们在恶劣环境中不可靠。暴露在雨水、灰尘和其他污染物中会使传感器受损。

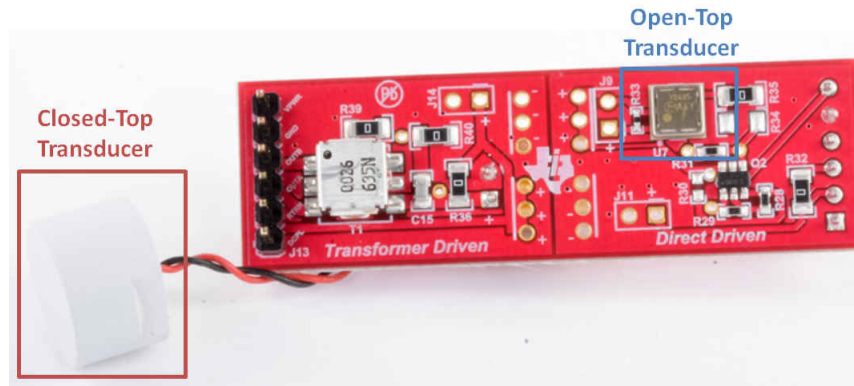


图 2-6. 密闭式和开放式传感器 (来自 PGA460EVM)

2.4 传感器拓扑

提供两种传感器拓扑：单基地或双基地。拓扑必须基于短范围要求。

单基地拓扑是指单个传感器既发送回波，又侦听返回的回波。这是大多数应用中优选的低成本方法。单基地传感器拓扑的缺点是，传感器的激励振铃/衰减会产生一个盲区而限制最小检测范围。在单基地配置中，可以通过添加阻尼电阻器来减小盲区。更多信息，请参阅节 2.6。

为消除这种振铃衰减，必须使用双基地拓扑，其中包含两个单独的传感器：一个用于发射，一个用于接收。使用双基地方法的缺点是需要额外进行校准，因为设计人员在计算飞行时间时必须考虑接收器处传入回波的角度。

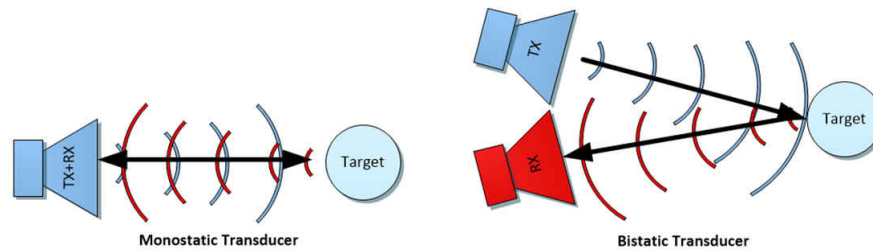


图 2-7. 单基地与双基地配置

2.5 传感器频率

对于空气耦合应用，超声波传感器的工作频率范围为 30 kHz - 500 kHz。随着超声波频率的增加，衰减率增加。因此，低频传感器 (30 kHz - 80 kHz) 对远距离更有效，而高频传感器对短距离更有效。更高频率的传感器 (80 kHz - 500 kHz) 也可以减少振铃/衰减，这会缩短最小检测范围。对于液位感测，通常使用 1 MHz 范围内的传感器。更多有关使用超声波技术进行液位感测的信息，请阅读[用于液位感测的超声波感测基础知识应用报告 \(SNAA220\)](#)。

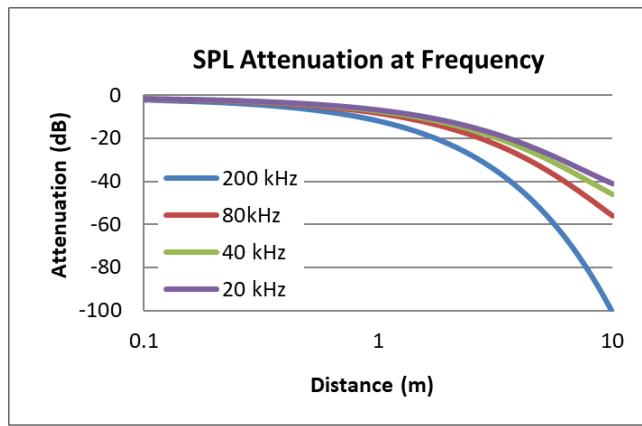


图 2-8. 测量距离与频率的相关性

频率、分辨率、方向性、衰减和距离之间的关系可以通过以下关系观察到：

↑ 频率 :: ↑ 分辨率 :: ↑ 更窄的方向性 :: ↑ 衰减 :: ↓ 距离

传感器的视场可以从窄 (15°) 到宽 (180°)。频率越高，视场越窄。使用低频传感器的窄视场也可以通过在传感器周围添加“喇叭”来实现，从而将其回波引导到更窄的模式中。

2.6 传感器驱动 (变压器驱动和直接驱动) 和电流限制

有两种驱动传感器的方式：变压器模式或直接驱动模式。这是根据所选传感器的最大驱动电压 (因此具有更高的电流限值) 确定的。尽管直接驱动是一种成本较低的驱动技术，但它通常适用于短距离、开放式应用。变压器驱动最大限度地提高了密闭式传感器的要求 (超过 100 Vpp) ，但也要求在大规模生产时进行额外的校准。图 2-9 显示传感器 (XDCR) 驱动电压与传输的声压级百分比之间的非线性关系。请注意，盲点长度随电流限值的提高而增加。

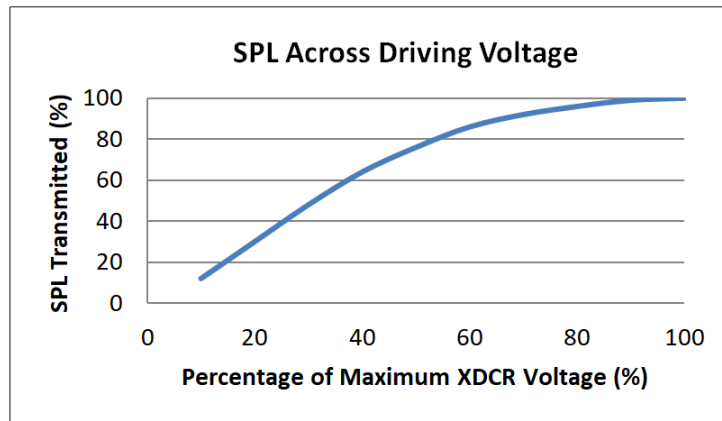


图 2-9. 跨驱动电压的 SPL

2.7 脉冲计数

脉冲计数是超声波感测系统中的另一个参数。它由传感器发出的脉冲数定义。脉冲计数越大，SPL 将越大，但传感器会在较长时间内突发大量脉冲，因此最小检测距离将不太理想。

2.8 最小检测范围

超声波系统的最小检测范围由传感器本身的特性及其发出脉冲的方式决定。盲点或传感器振铃/衰减时间是由单基地配置 (即同时发射和接收的配置) 中传感器底部振荡的谐振能量引起的。高频传感器的振铃/衰减时间较短，因此减小了最小距离。然而，使用这种方法将减小检测范围。使用双基地方法可以消除这种振铃行为，因为这种设置将发送传感器和接收传感器隔离开，但其成本将是单基地解决方案的两倍。

另一种减小盲点的方法是降低脉冲计数和电流限值。然而，这可能会降低回波的强度。

如果必须使用低频单基地设置，并且降低脉冲计数和电流限制会降低所接收回波的完整性，则可以引入额外的无源器件以减小盲点。范围为 500Ω 至 25 kΩ 的阻尼电阻器可与传感器并联，以减少振铃/衰减时间。

更多有关如何优化超声波设置的信息，请参阅 [PGA460 超声波模块硬件和软件优化应用报告 \(SLAA732\)](#)。

3 哪些因素会影响超声波感测？

频率为 20 kHz 或更高的声波被称为超声波，因为人耳听不到该频率范围。

3.1 传输介质

在不同的介质中，声音的传播特性和速度会发生变化。超声波传感器会针对声波在空气、液体或固体中的传播进行优化，但很少针对一种以上的传输介质进行优化。空气中的超声波衰减随着频率增加而增加，因此空气耦合超声波应用仅限于 500 kHz 以下的频率。液体和固体应用可以使用低 MHz 范围内的传感器实现高精度。

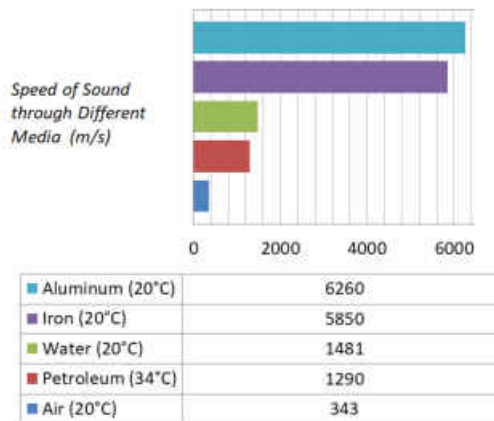


图 3-1. 声音通过不同介质的速度

3.2 声阻抗

声波可以穿过各种类型的介质来探测声阻抗严重失配的物体。声阻抗 (Z) 定义为密度和声速的乘积。与大多数液体或固体相比，空气的声阻抗要低得多。

表 3-1. 目标材料的声阻抗

材质	密度 (kgm^{-3})	声速 (ms^{-1}) (2)	声阻抗 ($\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1} \times 10^6$) (3)	(4)
空气	1.3	330	0.00429	
水	1000	1450	1.45	
肌肉	1075	1590	1.70	
铝	2700	6320	17.1	
铁	7700	5900	45.43	
钢	7800	5900	46.02	
金	19320	3240	62.6	
皮肤	1109	1540	1.6	

两个物体之间声阻抗 (Z) 的差异定义为阻抗失配 (请参阅 [方程式 5](#))。阻抗失配越大，在两种介质之间的界面进行反射的能量所占的百分比就越大。

$$\text{Reflection Coefficient} = R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad (5)$$

示例 1：空气和皮肤：



图 3-2. 皮肤和空气界面的反射系数

空气的声阻抗为 0.00429，皮肤的声阻抗为 1.6。将这些值放入反射系数中将得出 [方程式 6](#)：

$$\left(\frac{Z_{\text{Skin}} - Z_{\text{Air}}}{Z_{\text{Skin}} + Z_{\text{Air}}} \right)^2 = \left(\frac{1.6 - 0.00429}{1.6 + 0.00429} \right)^2 = 0.99 \quad (6)$$

在每个界面上执行这一计算将决定有多少能量被反射回来，有多少能量在材料中被吸收，以及有多少能量穿透界面。

示例 2：水和钢：

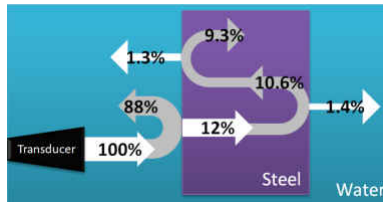


图 3-3. 水和钢界面的反射系数

同样，对于基于液体的检测，使用相同的方程式 ([方程式 6](#))，水和钢界面反射回 88% 的传输回波。

3.3 雷达截面

雷达截面是指目标将超声波反射回传感器的能力。弯曲的物体或倾斜的物体可能会散射向物体传输的大部分超声波，而产生微弱的回波响应。面对传感器时产生更强回波响应的表面包括：

- 大
- 密集
- 平
- 光滑

满足这些条件的物体（如墙或地板）会产生最佳响应。小型物体或部分偏转声音的物体（如人、动物或植物）会降低感测响应。在可能的情况下，平面物体应以 90° 的角度面对传感器，以尽可能增加感测响应。圆形或刚性表面允许更大的角度偏差。[图 3-4](#) 显示了基于目标的形状从目标的表面反射的超声波。

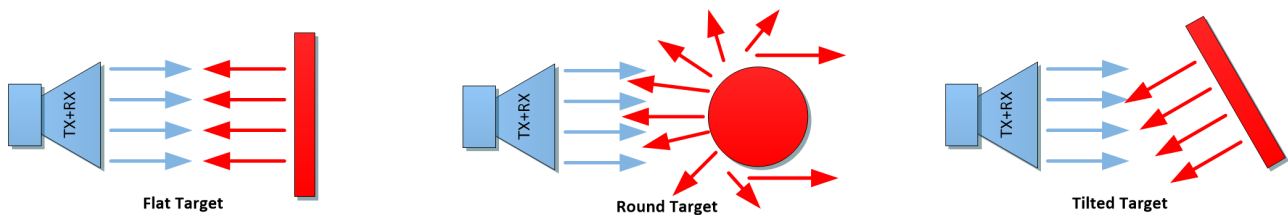


图 3-4. 基于目标形状的超声回波

方程式 7 定义了目标的雷达截面 (σ) :

$$\sigma = \text{Projected cross section} \times \text{Reflectivity} \times \text{Directivity} \quad (7)$$

3.4 环境条件 (温度、湿度、碎屑)

空气耦合超声回波的速度受外部环境参数的影响，如温度、湿度和带内环境噪声。感测范围随任一温度的升高而减小。虽然感测率也会随着湿度增加而降低，但这一点通常可以忽略，因为影响很小。跨温度和湿度的衰减率是非线性的。

$$V_{\text{Sound}} = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} + \left(0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^{\circ}\text{C}} \times \text{Temperature } (^{\circ}\text{C}) \right) \quad (8)$$

空气中的灰尘、雨水或雪等碎屑会削弱超声波能量，并改变传感器的视场。闭面式传感器的性能不受微小灰尘或污垢沉积物的影响。然而，如果传感器部分浸没在水中，或被泥土、雪或冰覆盖，测距性能将降低。

3.5 器件选择

重要的是，应根据将使用超声波解决方案的系统来选择解决方案。表 3-2 显示了 TI 的超声波感测产品：

表 3-2. 器件选择

	TDC1011 / TDC1000	TUSS4470	TUSS4440	PGA460
器件类型	模拟前端	模拟前端	模拟前端	模拟前端 + 数字信号处理器 (集成)
支持的传感器频率	31.25 kHz - 4 MHz	40 kHz - 1 MHz 40kHz - 440kHz (前置驱动)	40kHz - 400kHz	30kHz - 80kHz 和 180kHz - 480kHz
通道数量	TDC1011 : 1 通道 TDC1000: 2 通道	1 通道	1 通道	1 通道
驱动拓扑	直接驱动 (最高 5V)	- 直接驱动 (最高 36V) - 前置驱动	变压器驱动	- 变压器驱动 - 直接驱动 (添加了 FET)
增益级	固定增益 (20 dB 至 41 dB)	86 dB 对数放大器	86 dB 对数放大器	6 点时变增益 (32 dB 至 90 dB)
输出	- 过零 - 回波启动和停止脉冲	- 模拟回波包络 - 过零 - 包络阈值检测	- 模拟回波包络 - 过零 - 包络阈值检测	- DSP 处理输出 (飞行时间、振幅、宽度) - 回波数据转储 (下采样回波包络) - 原始数字数据路径 (ADC、带通滤波器、整流器、低通滤波器)
温度传感器	用于连接 RTD 的接口	否	否	片上温度传感器
诊断	无	SPI 诊断	SPI 诊断	- 系统诊断 (频率、衰减、激励电压) - 电源诊断 (过压)
符合汽车应用要求的器件	TDC1011-Q1 TDC1000-Q1	不适用	不适用	PGA460-Q1
输出接口	SPI	- SPI 用于编程 - 模拟输出	- SPI 用于编程 - 模拟输出	- USART (UART + SPI) - OWU - TCI

更多相关信息，请访问 ti.com/ultrasonic。

4 其他资源

- 德州仪器 (TI), [BOOSTXL-PGA460 产品页面](#)
- 德州仪器 (TI), [超声波传感与 PGA460-Q1 培训视频](#)
- 德州仪器 (TI), [PGA460 常见问题 \(FAQ\) 和 EVM 故障排除指南应用报告 \(SLAA733\)](#)
- 德州仪器 (TI), [PGA460 超声波模块硬件和软件优化应用报告 \(SLAA732\)](#)
- 德州仪器 (TI), [PGA460 变压器和传感器列表 zip 文件 \(SLAC787\)](#)

5 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision C (March 2020) to Revision D (December 2021)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。.....	1
• 更正了指向 <i>PGA460 变压器和传感器列表 zip</i> 文件的链接。.....	14
Changes from Revision B (January 2020) to Revision C (March 2020)	Page
• 更改了 <i>超声波系统级方框图</i>	5
Changes from Revision A (October 2019) to Revision B (January 2020)	Page
• 更改了表 3.....	13
Changes from Revision * (September 2019) to Revision A (October 2019)	Page
• 更改了 <i>超声波系统级方框图</i>	5

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