

通过集成和功耗调节应对超声设计挑战

作者: Rob Reeder, ADI公司应用工程师

内容提要

集成式多通道器件的进步体现在医疗保健和工业应用中的便携式、低功耗超声系统具有更低的功耗、尺寸与成本。

在 1990年代早期,尺寸与现代笔记本电脑接近的“便携式”电话(有时也称为“背包电话”)广为使用。此后,不出二十年,口袋大小的手机已经可以收发邮件和文字消息、拍照、查询股票、预约,当然还能给世界上任何地方的人打电话。与此类似,在医疗领域,早期所谓的“便携式”超声系统是推车式的,且

功耗较高、成本昂贵。幸运的是,超声系统近年来也得益于芯片集成和功耗调整技术的突破。

这些技术突破催生了更便携、更高效的超声系统,具有更佳的成像性能和更多的功能。更高的动态范围、更低的功耗以及更紧凑的系统级IC提供了高质量的图像,可更好地进行诊断。未来的超声系统可能是手持式的,并成为医师的第二个“听诊器”。

超声信号链

图1显示了一个超声系统信号链的简化框图。所有超声系统都在相对较长电缆的末端使用换能器,电缆长度一般为两米。此电缆至少包含8个——最多可达256个——微型同轴电缆,是系统中最昂贵的部件之一。在几乎所有系统中,换能器基元都直接驱动电缆。电缆电容成为换能器基元的负载,引起很大的信号衰减。它需要一个高度灵敏的接收器来保持动态范围和实现最佳系统性能。

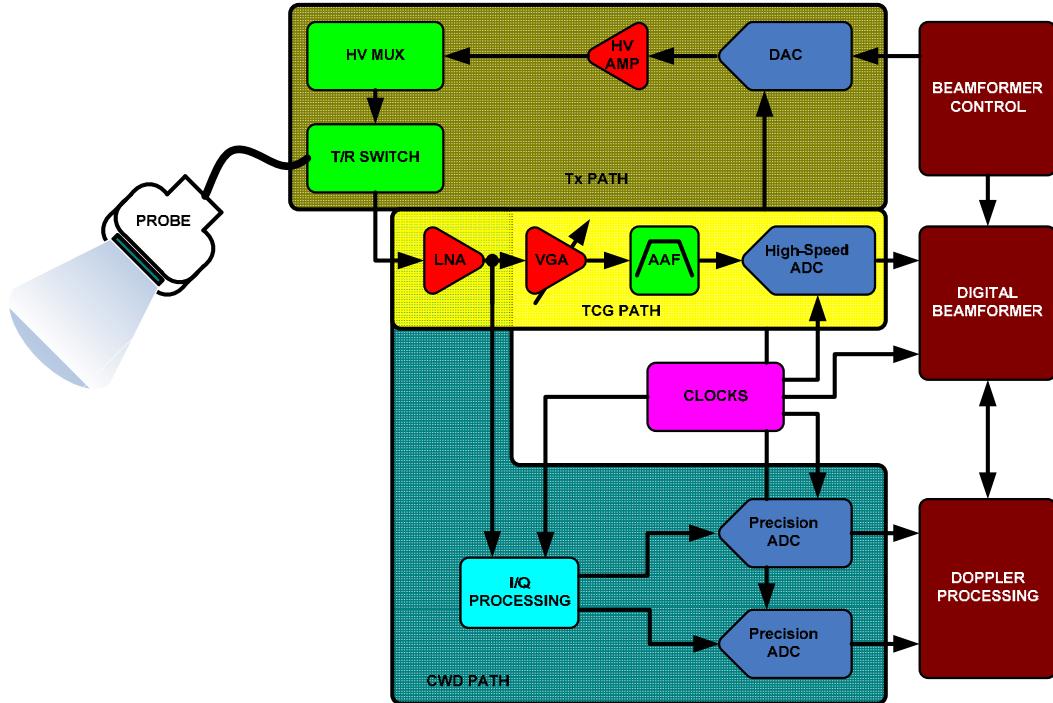


图1. 典型超声信号链

在发射端(Tx路径)，波束成形器决定针对所需焦点而设定的脉冲序列延迟模式。然后，波束成形器的输出由高压发射放大器放大，以驱动换能器。这些放大器由数模转换器(DAC)或者高压FET开关阵列控制，将发射脉冲整形，以便更好地向换能器基元传输能量。在接收端，发射/接收(T/R)开关(通常是一个二极管电桥)阻挡高压Tx脉冲。某些阵列会使用高压(HV)多路复用器/解复用器来降低发射和接收硬件复杂度，但这样会牺牲灵活性。

时间增益控制(TGC)接收路径由低噪声放大器(LNA)、可变增益放大器(VGA)和模数转换器(ADC)构成。VGA通常提供线性dB增益控制，与超声信号反射衰减匹配。在操作人员的控制下，TGC路径用于在扫描过程中保持图像的均匀性。低噪声LNA对于尽可能降低随后的VGA噪声分配极为关键。在需要输入阻抗匹配应用中，有源阻抗控制使噪声性能最佳。

通过VGA将宽动态范围的输入信号压缩，以满足ADC的输入范围要求。LNA的折合到输入端的噪声限制了可分辨的最小输入信号，而折合到输出端的噪声主要取决于VGA，它限制了特定增益控制电压下可以处理的最大瞬时动态范围。该限制是根据量化本底噪声设定的，而量化本底噪声由ADC的分辨率决定。早期的超声系统基于10位ADC，但多数现代系统使用12或14位ADC。

抗混叠滤波器(AAF)限制了信号带宽，同时也抑制了ADC之前TGC路径中的无用噪声。

医用超声的波束成形是指信号的相位对准和求和，这些信号由共同的信号源生成，但是由多基元超声换能器在不同的时间点接收。在连续波多普勒(CWD)路径中，对接收器通道进行移相和求和，以提取相干信息。波束形成有两个功能：一个是为换能器定向，以提高其增益，另一个是定义人体内的焦点，由该焦点得到回波的位置。

波束成形可以采用两种不同的方法实现：模拟波束成形(ABF)和数字波束成形(DBF)。ABF和DBF系统之间的主要区别在于完成波束成形的方式；这两种方法都需要良好的通道间匹配。ABF使用模拟延迟线和求和，仅需要一个精

密高分辨率、高速ADC。DBF系统是目前最受欢迎的方法，它使用“很多”高速、高分辨率ADC。DBF系统中的信号应尽可能靠近换能器基元进行信号采样，然后将信号延迟并对其进行数字求和。DBF架构的简化框图如图2所示。

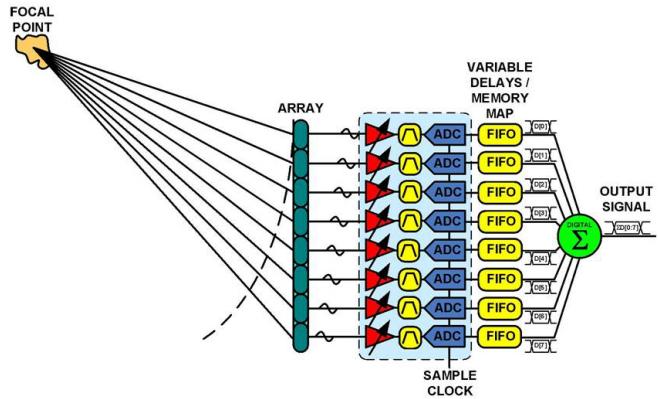


图2. 数字波束成形(DBF)系统简化框图

集成和分割策略

超声系统具有如此多的通道和元器件，虽然技术已经有了极大的进步，仍属于目前最复杂的系统。就像其他复杂系统那样，有很多方法可以进行系统分割。本节将回顾一些超声分割策略。

早期的超声系统采用模拟波束成形技术，需要使用大量的模拟元器件。TGC和Rx/Tx路径上的数字处理通过定制ASIC来实现。在多通道VGA、ADC和DAC广泛使用之前，这种方法很常见。ASIC具有大量栅极，其数字技术未针对模拟功能(比如放大器和ADC)优化。使用ASIC的系统很大程度上必须依赖于供应商产品的可靠性。

ASIC、FPGA和DBF技术与分立式IC ADC和VGA结合使用是实现便携性的第一步，但使用多通道(四通道和八通道)TGC、ADC以及DAC让尺寸与功耗得到大幅下降。这些多通道元器件可让设计人员从数字电路中将敏感模拟电路分割到独立电路板上。这样可以缩减系统尺寸，并且有利于在多个平台上重复利用电子电路。

然而，以高引脚数互连四通道和八通道VGA与ADC会让PCB走线路由变得困难，某些情况下会迫使设计人员使用通道数较少的器件，比如从八通道ADC转而使用四通道ADC。将大量多通道元器件放置在小面积内还会导致散热问题。进行最佳分割可能会变得很有挑战性。

完整TGC路径采用多通道、多器件的进一步集成使设计变得更加容易，因为PCB尺寸和功耗要求得以进一步降低。随着更高级集成方案的广泛使用，成本、尺寸和功耗进一步减小，便携式系统的电池寿命更长。

这类架构可以采用超声子系统构建(比如AD9271)，它包含LNA、VGA、可编程抗混叠滤波器、12位ADC和八个TGC通道的串行LVDS输出。

最终的超声解决方案可在探头里集成更多的电子功能，并尽可能靠近换能器基元。记住，探头基元的电缆会限制动态范围，且成本高昂。如果前端电子元件更靠近探头，那么电缆损耗的影响就会更小，降低LNA要求并进而降低功

耗。一种方法是将LNA移至探头电子器件中。另一种方法是分割探头和PCB电子器件的VGA控制。最终，系统尺寸更小，足够装进超小型封装中。这样做的不足之处是设计人员又回到了原点，需要定制探头。换言之，探头/电子器件定制将使现代设计人员面临以前使用数字ASIC的设计人员所面临的同样问题。

使用现代IC调节电源/性能

超声涵盖了范围广阔的各种应用，因此系统设计人员所需要的权衡取舍也更多。每一种诊断成像模式都有不足之处，通常是性能与功耗的权衡。现在，这些难题由可让设计人员在IC内部调节性能与功耗比的元器件所解决，从而缩短了产品上市时间。同样，我们希望超声子系统可以在IC内部提供一系列选项，以便调节输入范围、偏置电流、采样速率和增益。根据所要求的成像模式或探针类型，系统设计人员几乎可以实时对设计的适用性进行系统调节，并以最低的功耗提供最高的性能。

Medical Ultrasound Configuration Tool for an Integrated Rx Channel

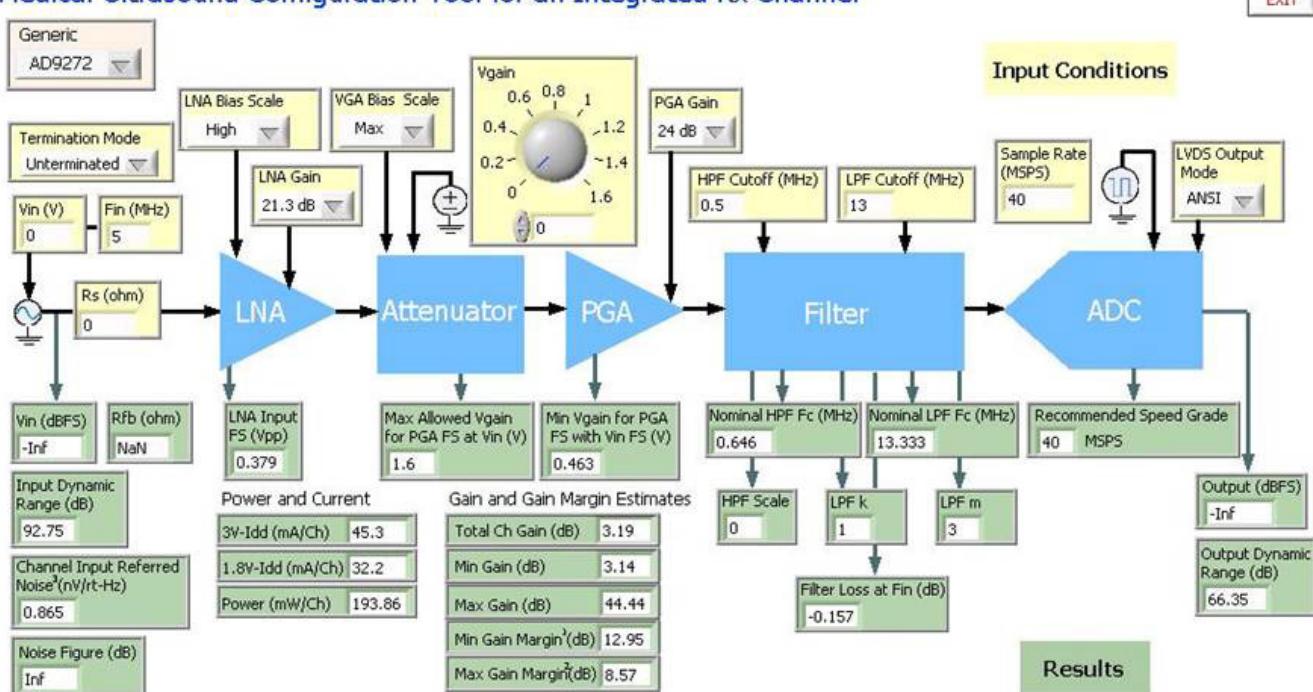


图3. 超声子系统配置工具图形用户界面

设计人员还可针对这些器件使用配置设计工具，从而可对各种单独的探头和图像模式性能进行评估，如图3所示。系统设计人员可以快速做出这些权衡取舍，并直接在IC级别调节系统设计。如此，便无需更改硬件并执行复杂的图像处理测试来验证这些权衡取舍。

此外，配置工具还可将最优配置参数转换为数字设置，并生成一个文件，将该器件的最终配置复制到系统中。

结论

在医疗和工业应用中，超声系统正在不断向便携性和低功耗发展。所有这类系统都具有相似的要求，并在近年来实现了集成和功耗调节创新。

集成式多通道器件的进步体现在进一步降低了功耗、尺寸和成本。无疑，最新的创新产品与配置工具可让系统设计人员更轻松。这便为根据具体成像模式开发可配置和可进行性能与功耗调节的多样化超声产品提供了途径。

大多数超声设备制造商的知识产权(IP)都集中在探头和波束成形技术上。多通道集成的常用器件包括四通道和八通道ADC，它们可以最大程度减少高成本模拟元器件的使用，并降低费时费力的TGC通道校准要求。超声系统的其他部分还可进一步集成。对更多的信号链部分进行集成将进一步降低功耗、尺寸和成本，同时提升处理能力。

参考文献

1. Reeder, Rob和Corey Petersen, “AD9271——便携式超声设备的革命性解决方案”，模拟对话41-07。
2. Brunner, Eberhard, “影响超声系统前端器件选择的考量因素”，模拟对话36，第一部分(2002)。
3. Kisslo, Joseph A.和David B. Adams, 多普勒超声心动图原理和多普勒检查#1, London: Ciba-geigy, 1987。
4. Kuijpers, F. A., “未来医疗成像应用中技术的作用”，Medicamundi, 1995年第40卷第3期, Philips Medical Systems。
5. Meire, Hylton B.和Pat Farrant, 基础超声, Wiley, 1995年, 第1-66页。
6. Reeder, Rob, “轻松完成超声系统设计”，EETimes-India, 2009年2月。
7. Reeder, Rob, “利用新器件实现灵活的超声系统设计”，Planet Analog, 2009年1月。
8. Odom, Bill, “超声模拟电子技术入门”，模拟对话33-5。
9. Errico, Paul和Allen Hill, “超声系统高速信号处理元件的选择”，模拟对话。

资源

欲获得有关超声和其他医疗保健应用的信息，请访问：
www.analog.com/healthcare

本文提到的产品

| 产品 | 描述 |
|------------------------|--------------------------|
| AD9271 | 8通道LNA/VGA/AAF/ADC与交叉点开关 |