

Application Note

远场应用中的模拟麦克风和 ADC 系统



Sungjin Max Roh

摘要

远场音频应用（例如 AI 扬声器和条形音箱、AI 电视和其他声控产品）需要具备以下特性：

- 较宽的 DR（动态范围）
- 高 AOP（声学过载点）
- 低 THD（即使对于非常嘈杂的信号，总谐波失真也很低）
- 低等效输入噪声
- 体积小，功耗低

所有这些电气规格都使语音命令程序能够获得精确的语音命令识别，而不会出现任何意外错误。本应用报告讨论并展示了德州仪器 (TI) 的 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 系统模拟麦克风在远场音频应用中的优势。

内容

1 近场和远场.....	2
1.1 定义.....	2
2 远场应用中的组成要素.....	2
3 了解数字麦克风和模拟麦克风.....	3
3.1 数字 PDM 麦克风系统.....	3
3.2 带 ADC 系统的模拟麦克风.....	3
4 每款麦克风的量化噪声密度.....	4
5 远场中的动态范围.....	5
5.1 DR.....	5
5.2 麦克风中的 DR.....	5
5.3 TLV320ADC5140/PCM5140-Q1 中的 DRE.....	5
5.4 TLV320ADC5140/PCM5140-Q1 的 DRE 性能.....	5
6 采用 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 的任何麦克风设计.....	7
6.1 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 的结构.....	7
7 结语.....	9
8 修订历史记录.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 近场和远场

1.1 定义

近场和远场是与声源之间的物理距离的构成要素，如图 1-1 中所示。这取决于听者与声音投射对象之间的距离。在不同的距离，可以听到波长发出的声能不同。准确理解这些差异并设计测量机制是一个主要问题。图 1-1 表示在第二个波长之前是近场，从第二个波长开始是远场范围。

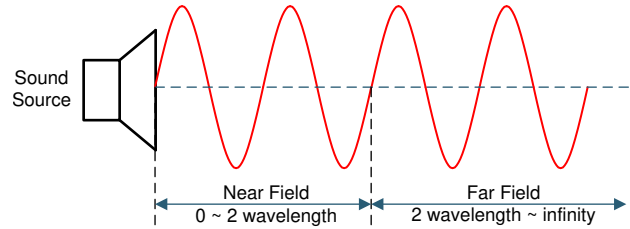


图 1-1. 声源的近场和远场

远场范围内的基本理念是，与声源的距离每增加一倍，声压就会降低 6dB。对于大多数语音识别系统，指挥官都位于远场范围内。

2 远场应用中的组成要素

若要获得更精确的语音激活系统，远场应用必须获得这些元素，尤其是用于语音识别应用时。

表 2-1 说明了要获得更好的语音识别系统必须具备的组成要素。

表 2-1. 远场应用的组成要素

应用要求	系统规格要求
<ul style="list-style-type: none"> 清晰澄澈 无失真音频采集 	较宽的动态范围麦克风和 ADC
在嘈杂的环境中，麦克风靠近扬声器	<ul style="list-style-type: none"> 高 AOP (声学过载点) 低 THD (即使对于非常嘈杂的信号，总谐波失真也很低)
远场录音	低 EIN (等效输入噪声)
便携性	<ul style="list-style-type: none"> 外形小巧 低功耗

3 了解数字麦克风和模拟麦克风

麦克风是一种将声压转换为电信号的传感器。共有两种收集声波的麦克风。一种是数字类型麦克风，另一种是模拟类型麦克风。本节介绍了麦克风的表现形式：数字 PDM (脉冲密度调制) 麦克风和带 ADC 的模拟麦克风。

3.1 数字 PDM 麦克风系统

数字 PDM 麦克风将 1 位流作为输出，并直接输出 Σ - Δ 调制器。PDM 的采样率通常在几百 kHz 至 3.072MHz 之间。此 Σ - Δ 调制器需要一个抽取滤波器才能进一步处理 PDM 数据。抽取滤波器植入编解码器或与 PDM 麦克风相连的 DSP 中。该滤波器的输出以 16 和 48kHz 的较低采样率发送数据。这是一个比节 3.2 中所示具有 ADC 系统的模拟麦克风更弱的点。然而，与 I2S 麦克风相比，PDM 麦克风确实具有一些优势。PDM 麦克风通常只需要两条信号线 (PDM 时钟和 PDM 数据) 作为音频接口，而 I2S 需要三条或四条线 (位时钟、字时钟、音频数据，偶尔还有主时钟)。这就引出了一个有益的想法，即硬件工程师可以轻松地减少物理接口线。

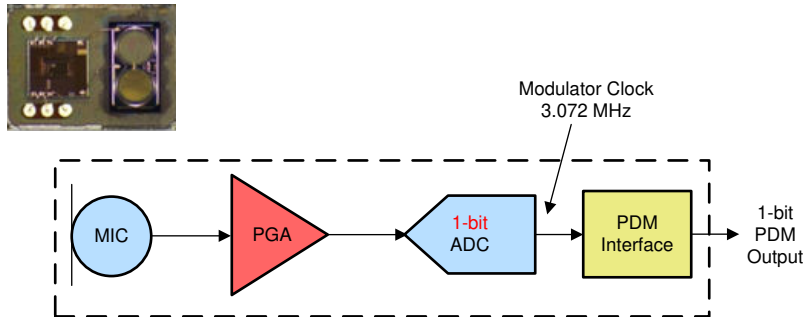


图 3-1. 1 位输出的数字 PDM 麦克风

3.2 带 ADC 系统的模拟麦克风

基于德州仪器 (TI) TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 且带有 ADC 系统的模拟麦克风使用多位调制 ADC 和 I2S (或 PCM、TDM、DSP) 接口来投射范围大于 24 位的音频数据，如图 3-2 中所示。这与 PDM 麦克风不同，PDM 麦克风结合使用 1 位调制和 PDM 接口。对于如图 3-2 中所示的带 ADC 投射的模拟麦克风，ADC 输出的 I2S 音频信号需要比两个 PDM 信号多一条或两条接口线。模拟麦克风在量化噪声特性方面具有带内 (20Hz 至 20KHz) 和带外 (20KHz 以上) 优势 (节 4 中对此进行了详细说明)。这是因为数字 PDM 麦克风使用 1 位 ADC 调制器，时钟频率为 3.072MHz，而带 ADC (德州仪器 (TI) 的 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1) 的模拟麦克风使用多位架构，调制器时钟频率为 6.144MHz，这使其在量化噪声密度方面具有卓越的质量。

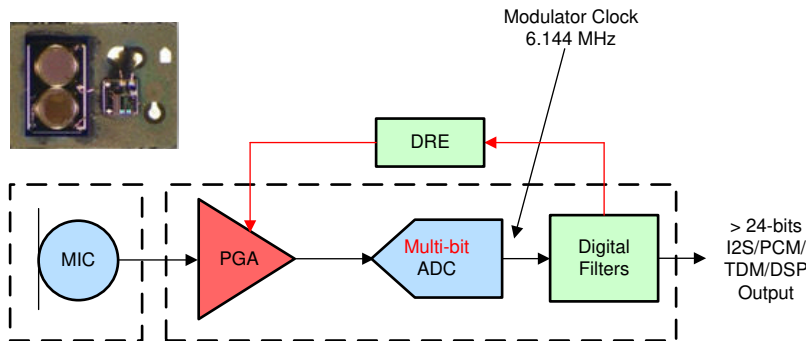


图 3-2. 用于多位输出且带 ADC 的模拟麦克风

4 每款麦克风的量化噪声密度

数字 PDM 麦克风中的 1 位调制器在结构上具有高量化噪声，与具有多位 ADC 的模拟麦克风相比，这限制了 PDM 麦克风的 SNR 和动态范围。TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 使用多位调制器，其带内量化噪声比典型的 1 位调制器低 15 倍，甚至更多。此外，TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 多位调制器的总量化噪声比 1 位 PDM 调制器的总典型量化噪声低 30 倍。带内高量化噪声的语音识别效果较差，麦克风每提高 6dB，系统性能便会根据录音距离和灵敏度实现提升。

与多位 ADC 相比，1 位 PDM 调制器较高的总量化噪声极大地限制了它能够以低失真录制的最大高振幅信号。这一限制使数字麦克风不适合用于条形音箱、HDTV、专业扬声器等设备，在这些应用中，需要麦克风以低失真录制非常响亮的扬声器输出，以便以良好的质量实现回声消除，并成功启用语音命令检测功能。

图 4-1 展示了 1 位 PDM 调制器和多位模拟调制器在所有频段上的典型量化噪声密度差异。

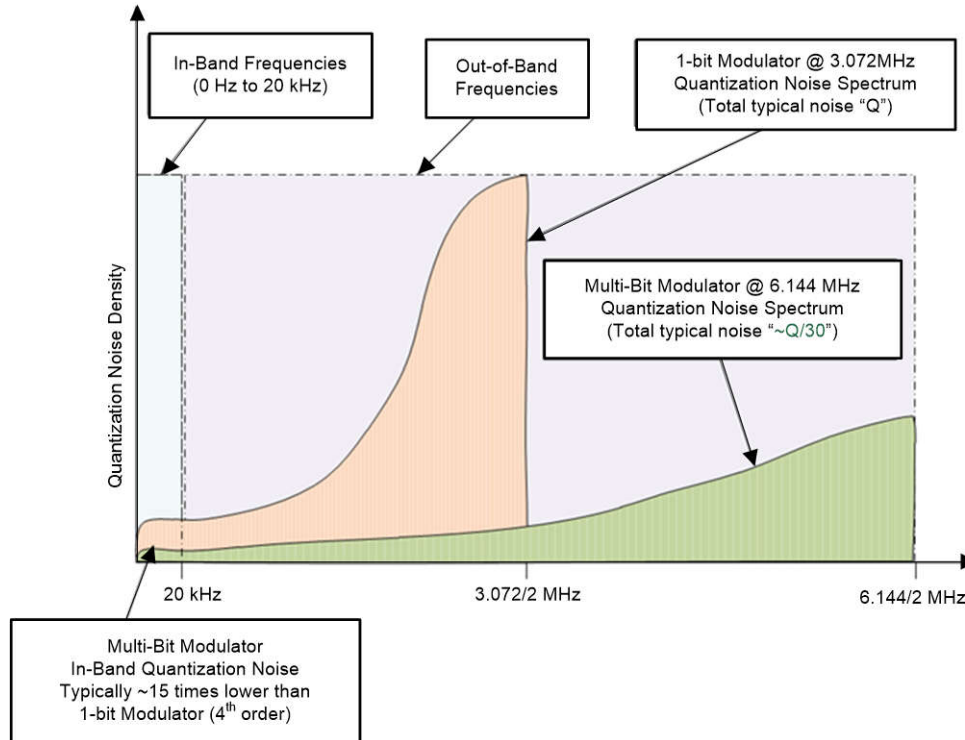


图 4-1. 量化噪声密度

5 远场中的动态范围

5.1 DR

动态范围 (也称 DR、DNR 或 DYR) 描述了系统中以超低失真转换的最大声音与最柔和声音之间的比率。换言之，音频场使用动态范围来描述乐器系统中最柔和的声音级别与最大声音级别的比率。因此，当信号在系统中可能最响亮时，动态范围用作 SNR (信噪比)。

5.2 麦克风中的 DR

如关于动态范围的节 5.1 中所示，更好的 SNR、更低的 THD (总谐波失真) 和更好的 AOP (声学过载点) 可实现较高的动态范围。在这里，AOP 是麦克风可以录制失真高达 10% 的响亮声音的点。麦克风等效输入噪声 (EIN) 用于将麦克风 SNR 定义为麦克风不再有效投射实际声音信号电平与麦克风自噪声电平之差的点。目前，它不再有效地用作声压传感器。

5.3 TLV320ADC5140/PCM5140-Q1 中的 DRE

TLV320ADC5140/PCM5140-Q1 器件集成了具有 120dB 动态范围性能的超低噪声前端 PGA 和具有 108dB 动态范围的低噪声、低失真、多位 Δ - Σ ADC。动态范围增强器 (DRE) 是一种数字辅助算法，用于提高整体通道性能。DRE 可以监控输入信号幅度，并相应地自动调整内部 PGA 增益。DRE 可实现高达 120dB 的完整通道动态范围。在系统级别，DRE 方案能够在非常安静的环境中实现远场高保真音频信号录制，并在嘈杂的环境中实现低失真录制。该算法以超低的延迟 (几 μ s 的循环时间) 实现，所有信号链块的设计都旨在尽可能减少动态增益调制可能产生的任何音频失真。

图 5-1 中的方框图介绍了高性能模拟麦克风的完整信号链性能。

如图 5-1 中所示，如果系统使用有效动态范围性能高达 114dB 的高性能模拟麦克风，以及无 DRE 的低成本 108dB ADC，整个信号链动态范围会因 108dB ADC 而限制在 106.8dB (114dB - 7.20dB)。然而，启用 TLV320ADC5140 的 DRE 方案后，即使是使用低成本的 108dB ADC，也能以非常经济的方式实现 112.97dB (114dB - 1.03dB) 的整体信号链动态范围。

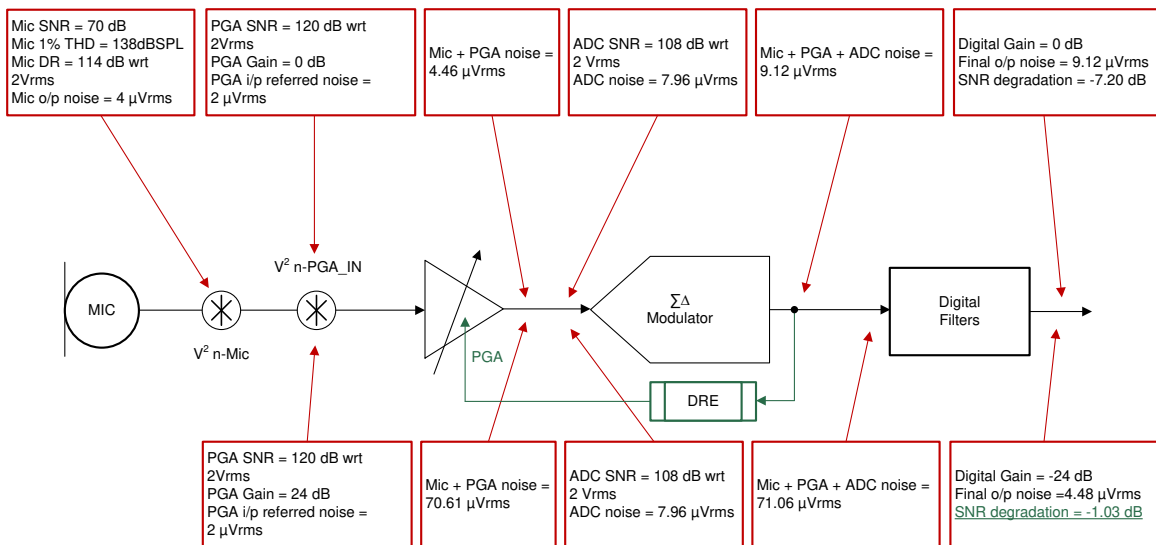


图 5-1. DRE 方框图

5.4 TLV320ADC5140/PCM5140-Q1 的 DRE 性能

图 5-2 和图 5-3 展示了启用/未启用 DRE 的 THD+N 测量结果。启用了 DRE (DRE 阈值设置为 -36dB) 的测量图显示 DR 提高了 12dB，录音距离和灵敏度也提高了四倍。

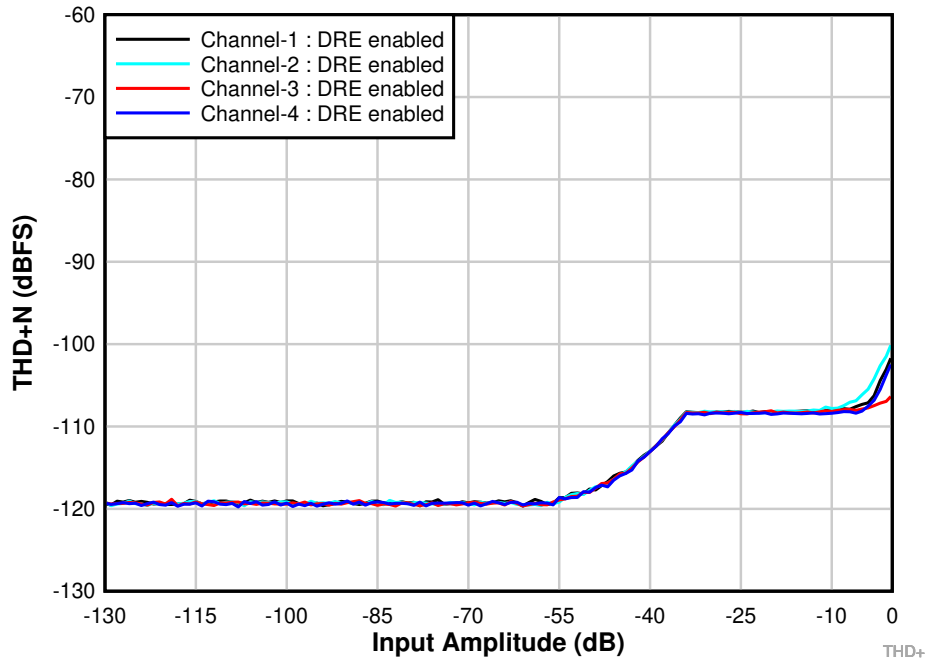


图 5-2. 启用 DRE 的 THD+N 性能测量结果

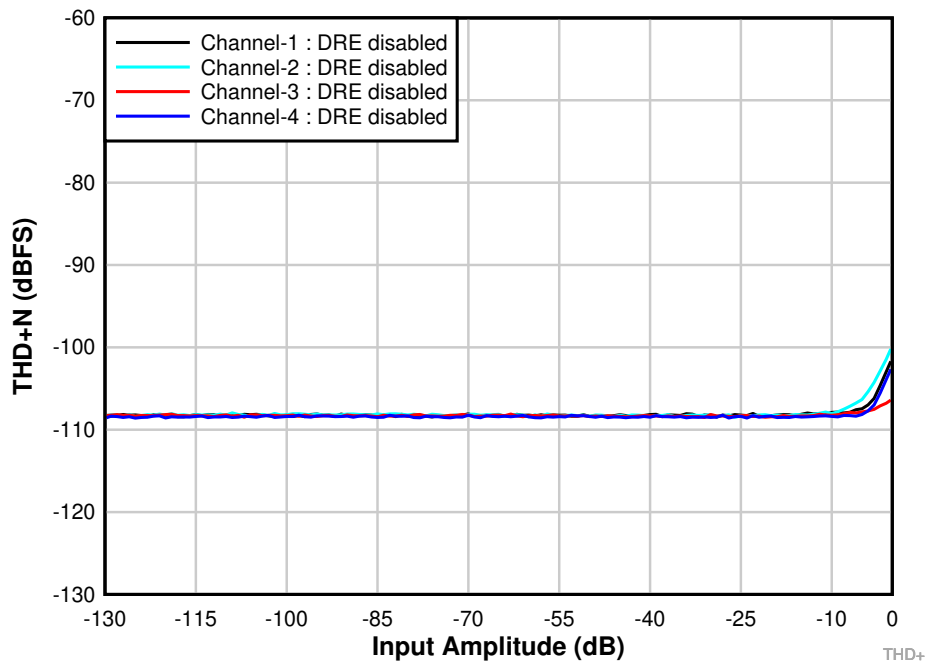


图 5-3. 禁用 DRE 的 THD+N 性能测量结果

6 采用 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 的任何麦克风设计

6.1 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 的结构

德州仪器 (TI) 的 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 由四个模拟麦克风、八个数字麦克风或两者的组合构成，可将音频模数转换器设计为具有四个内部 Σ - Δ ADC 和八个数字麦克风接口的输入。这使硬件设计人员能够使用灵活的设计结构，特别是支持麦克风阵列设计。

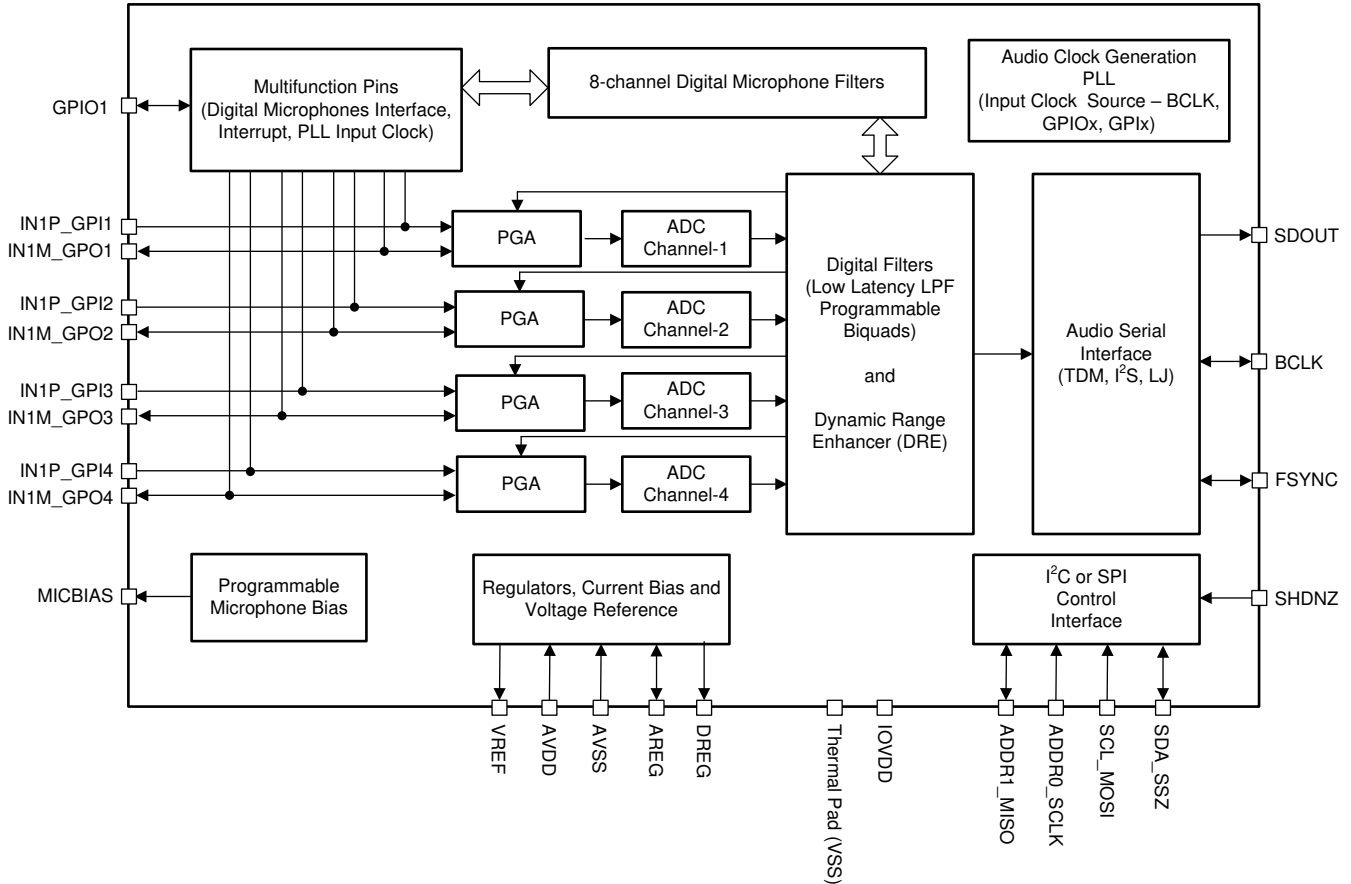


图 6-1. TLV320ADC5140/PCM51x0-Q1 的内部方框图

6.1.1 设计示例 1：仅模拟麦克风系统

一个差分模拟麦克风最多可以形成四个多通道。在这种情况下，输出信号会将前端 PGA 转换为增益控制，然后使用将由 ADC 转换的高性能多位 Σ - Δ AD。完成此过程后，它将被发送到抽取滤波器。

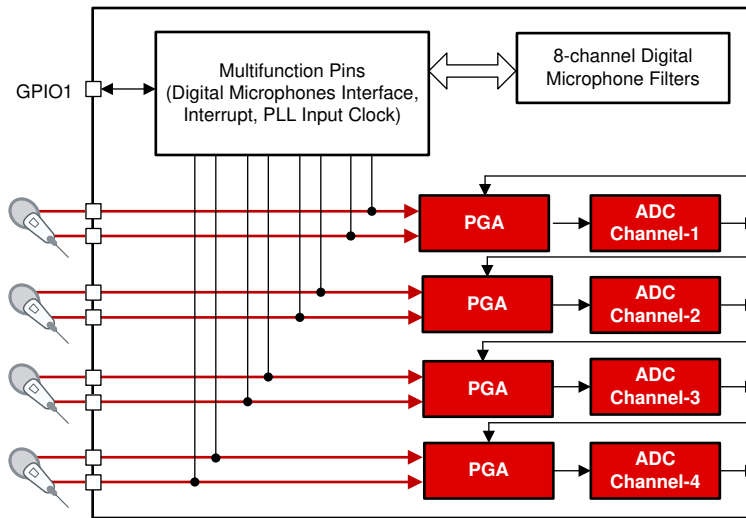


图 6-2. 模拟麦克风系统方框图

6.1.2 设计示例 2：仅数字麦克风系统

数字 PDM 麦克风最多可以形成八个多通道。在这种情况下，麦克风的 PDM 输出通过 PDM 接口发送至抽取滤波器。

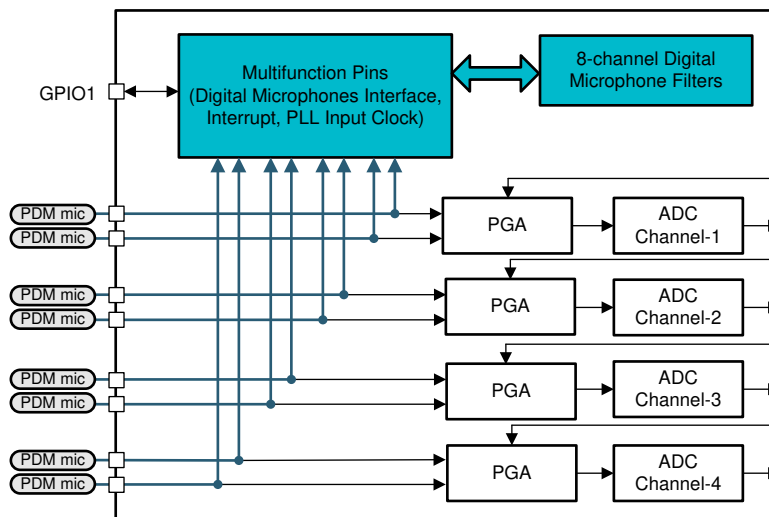


图 6-3. 数字 PDM 麦克风系统框图

6.1.3 设计示例 3：模拟和数字麦克风组合系统

该系统可以根据需要使用模拟 PDM 麦克风和数字 PDM 麦克风组合而成。在这种情况下，每个输入都经由设计示例 1 和 2，并逐渐发送至抽取滤波器。

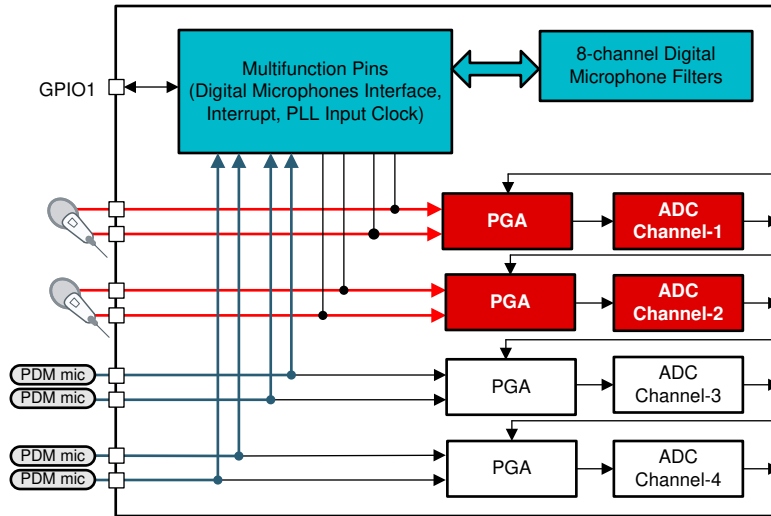


图 6-4. 组合麦克风系统方框图

7 结语

德州仪器 (TI) 的 TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 系统引入了远场应用，通过利用模拟麦克风的优势，调制产生的量化噪声密度得到改善，从而提高了 DR 系统的高度。这使得远场应用所需的语音识别系统尽善尽美。

TLV320ADC51x0/PCM51x0-Q1 是一种模拟或数字麦克风输入，用于可根据需要进行调节的音频模数转换器。

8 修订历史记录

Changes from Revision A (May 2022) to Revision B (December 2023) **Page**

- 通篇添加了 PCM51x0-Q1..... 1
-

Changes from Revision * (June 2019) to Revision A (May 2022) **Page**

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 2
-

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司