

Technical Article

音频技术进步赋能类人机器人感知声音、输出语音



Jonathan Huang, Ramsey Foote, and Christian Greeff, Texas Instruments

类人机器人正走出实验室，落地工厂、医院与家庭场景，但这类环境往往嘈杂、干扰繁杂且充满不确定性。让机器人可靠识别命令并自然应答，是机器人设计领域最难攻克工程难题之一。如今，麦克风阵列、波束成形与高效放大技术不断取得突破，使这一目标成为现实，推动音频交互摆脱机械感，更贴近自然人机沟通。

基于麦克风的音频输入，让类人机器人能够接收语音命令并执行相应动作。无需触摸屏或预设程序，即可实现更自然、更直观的人机交互。机载麦克风还可使机器人感知各类环境音频信号，例如警报响铃、呼喊声音或碰撞警告，实时实现具备场景感知能力的行为响应。想要在嘈杂的真实场景（如图 1 中所示）中实现上述功能，就需要麦克风阵列与波束成形技术。波束成形是一种信号处理技术，可定向拾取声音，从而分离声源、清晰采集远场语音。



图 1. 类人机器人发声警示工厂工人防范安全隐患

扬声器输出同样对安全至关重要。无论是响应用户、播报状态信息还是发布紧急警报，类机器人都必须输出清晰、高质量的语音，确保周边人员及时获取信息并做出恰当处置。清晰易懂的语音输出也能让双向交互更为自然，在协同作业场景中建立人机信任。若要实现机器人同时收听与发声，且双方音频信号互不劣化，系统必须搭载噪声抑制与声学回波消除技术。即便收发音频同步工作，该技术也能保障输入音频干净、输出语音清晰可辨。

整套功能的实现依赖完整音频信号链：从支持模拟、数字输入的麦克风汇聚单元，到高效 D 类放大器，在不额外消耗电池电量的前提下最大化输出功率。

特性实现方案

记录路径算法

可在真实环境流畅通信的类人机器人，通常采用波束成形方案：在机器人头部布设 4 颗及以上麦克风组成阵列。波束成形算法处理每一路麦克风音频数据，定位最强音频信号方向。锁定声源方向后，算法为各路麦克风输入施加精准计算的时延，通过电子方式将拾音波束对准目标声源。设计人员可以针对特定配置文件应用额外调优，例如人类语音或其指定类型的声音。

波束成形使麦克风阵列聚焦来自特定方向的声音，同时抑制来自其他方位的干扰噪声。多麦克风架构还可通过通道信号求和优化远场拾音：强化所有麦克风共有的目标音频，同时削弱互不相关的噪声。波束成形处理后的音频信号再经过噪声抑制算法优化，在送入主机处理器前进一步提升整体音质。

高功率，高效率

类人机器人普遍面临空间受限与散热约束。在狭小空间内密集布置大功率电机与处理器，通风条件有限，因此需要可在高温环境工作的高效率放大器。无需外部散热器的集成电路 (IC) 在这类紧凑设计中提供了显著优势，如图 2 所示。TI 的 **TAS6511-Q1** 是一款单声道放大器，输出功率 50W，最高工作温度可达 125℃，采用 4mm×4mm 焊盘朝下 QFN 封装。针对采用模拟输入放大器的设计，**TPA3132D2** 模拟输入 D 类放大器可向单声道扬声器输出 50W 功率，无需任何 I2C 配置。如果所需输出功率较低（例如小型机身或低环境噪声场景），可选用支持 15W 输出功率的 **TAS6501-Q1**。

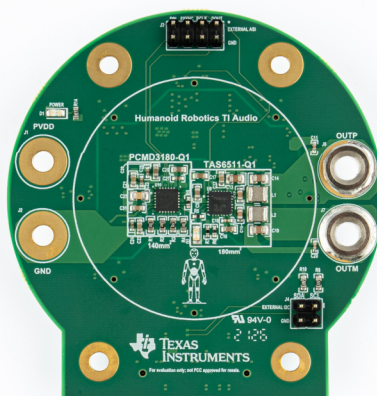


图 2. TI 类人机器人音频子系统参考设计 (TIDA-060054) 中的 PDM 转 TDM 音频转换器与音频放大器

当前如何实现这些功能？

麦克风阵列聚合器

类人机器人若要有效处理环境音频，需要将所有麦克风数据统一转换为主机处理器可识别的标准格式。时分多路复用 (TDM) 音频总线是典型的实现方案，作为麦克风阵列与处理器之间的通用数据交互接口。

这需要打通麦克风拾音格式与主机处理器接收格式之间的差异。模麦克风录制模拟信号；数字麦克风录制脉冲密度调制 (PDM) 信号，二者均非主机处理器所需的 TDM 格式。麦克风与处理器之间增设音频转换器，汇聚各路输入并转换为 TDM 信号，在系统层面实现流畅、实时的音频处理，如图 3 所示。

TI 可提供适配两种信号类型的解决方案：TLV320ADC3140 是面向模拟麦克风的高性能音频 ADC；PCMD3180 则是面向数字麦克风的 PDM 转 TDM 音频转换器。两款器件均可保证所有麦克风输入以 TDM 格式到达主机处理器。

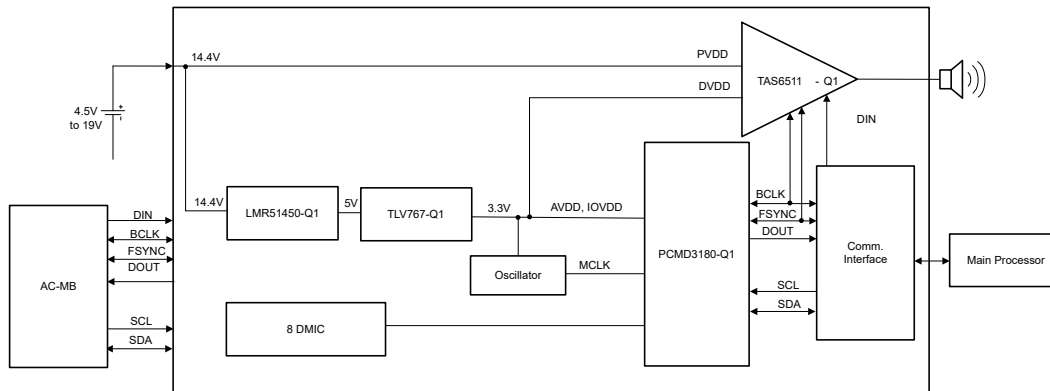


图 3. 类人机器人典型音频方框图

小巧方案尺寸，更低 BOM 成本

部分类人机器人的音频系统布设于头部单元。麦克风与扬声器需要安装在空间极其有限的结构内，再将数据传输至胸部附近的主处理器。这种空间受限场景对所选集成电路的尺寸与集成度提出了严苛要求。

PCMD3180 音频转换器、TAS6511-Q1 D 类放大器和 TAC5212 低噪声音频编解码器均采用 4mm×4mm 四方扁平无引脚 (QFN) 芯片这类小型薄型集成电路封装，器件可紧密相邻排布，不会造成电路板空间紧张。TPA3132D2 D 类放大器采用尺寸稍大的 5mm×5mm QFN 器件，无需外部 I2C 配置即可工作。

焊盘朝下 (底部接触式) 封装省去体积庞大的散热器，帮助器件实现散热，适配头部单元狭小空间。TAS6511-Q1 采用 2.1MHz 开关频率，可将输出滤波电感规格由 10μH 降至 3.3μH，让整条音频信号链保持小型化，且不牺牲效率与输出音质。

高效率，低功耗

电池续航是类人机器人设计最关键的考量指标之一。电机驱动器、主机处理器、感知传感器、音频系统及各类其他模块共用同一电源，因此所有器件都必须尽可能降低功耗。高效率与待机低功耗，是类人机器人能够稳定投入实际应用的基础。

TI 依托全系列音频器件针对性解决该痛点。PCMD3180 转换器待机功耗仅 2.5mW；同等工况下 TAS6511-Q1 放大器功耗低于 0.5W。无需满功率输出时，最大限度降低音频系统的电池消耗。满功率输出时，TAS6511-Q1 输出 50W 功率时能效高达 90% (业界顶尖水平)，有效减少电池耗电。

一站式解决方案

许多类机器人企业能够投入音频开发的设计工程资源有限。资源分散在运动控制、环境感知、AI 等方向，因此音频器件需要选型便捷、易于落地。

TI 在设计音频产品系列时充分考虑了这一需求。包括 PDM 转 TDM 转换器、D 类放大器、音频编解码器在内的所有 IC，均配套应用手册、评估模块，同时可通过 TI 音频配置软件 **Pure Path Console** 获取技术支持。设计人员依托上述资源，可快速完成音频系统配置、测试与调试，无需深厚的音频专业背景。

结语

随着类机器人走出受控实验室环境，进入工厂、医院、家庭，高精度音质将直接决定其人机协同工作能力。在嘈杂现实环境中清晰拾音、智能响应、安全交互，是机器人具备实用性与可靠性的核心基础。TI 紧凑型、高效率、易集成的音频技术，助力机器人设计团队攻克上述挑战，无需在空间、功耗或开发周期之间妥协。设计人员可聚焦下一阶段目标：打造能够在人类生活、工作场所安全运行的机器人。

其他资源

- **查找器件**：浏览 [PCMD3180](#)、[TAS6511-Q1](#)、[TAC5212](#)、[TPA3132D2](#) 产品页面以及 [TI 机器人](#) 产品概述。
- **优化设计**：下载 [Pure Path Console](#) 并查看 [TAC5212](#) 和 [PCMD3180](#) 功耗相关应用手册。
- **咨询专家**：前往 [TI 音频 E2E 论坛](#)，发布您的音频设计问题。

关于作者

Jonathan Huang

Jonathan Huang 任职于 TI，担任产品营销工程师，主攻音频转换器。他持有佐治亚理工学院电气工程学士学位。业余时间，他喜爱尝试新颖菜式和出国旅行。

Ramsey Foote

Ramsey Foote 是 TI 系统工程师，专注音频转换器相关工作。他拥有伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校电气工程硕士学位，闲暇时喜欢设计音频设备和进行攀岩运动。

Christian Greeff

Christian Greeff 是 TI 机器人系统工程师，主攻类机器人解决方案。他毕业于佛罗里达农工大学，获电气工程学位。他设计了多项个人项目，涵盖电动自行车、电动卡丁车、定制电动滑雪缆车绞车，以及一款 20kW 电动载人飞行器。

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月