

Technical Article

オーディオテクノロジーの進歩により、ヒューマノイドが現実の世界で音声を聞き、話すことが可能に



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

ヒューマノイド ロボットは、ラボから工場、病院、家庭へと進出していますが、そのような環境は、騒音が大きく、雑然としており、予測できない事態が発生することがあります。ロボットが確実に指示命令を聞き、自然に応答できるようにすることは、ロボット設計におけるエンジニアリングの最も困難な課題の 1 つです。今日では、マイク アレイ、ビームフォーミング、および高効率増幅技術の進歩によりそれが可能になってきており、機械的でなく、より人間に近い音声のやりとりが実現されつつあります。

マイクベースのオーディオ入力を利用して、ヒューマノイドは音声の指示を受信し、それに基づいて動作することが可能になり、タッチスクリーンや事前プログラム済みのルーチンを使用しなくても、人間とのやりとりがより自然で直感的なものになります。また、オンボード マイクを使用することで、ロボットはアラーム音や叫び声、衝突警告などの環境音声の手がかりを監視し、リアルタイムで状況に応じた動作を取ることができます。図 1 に示すようなノイズの多い実際の状況でこの動作を実現するには、音源を分離し、遠距離の音声を明瞭に收音するために、マイク アレイと、ビームフォーミング (特定方向からの音を集中的に拾う信号処理技術) が必要です。

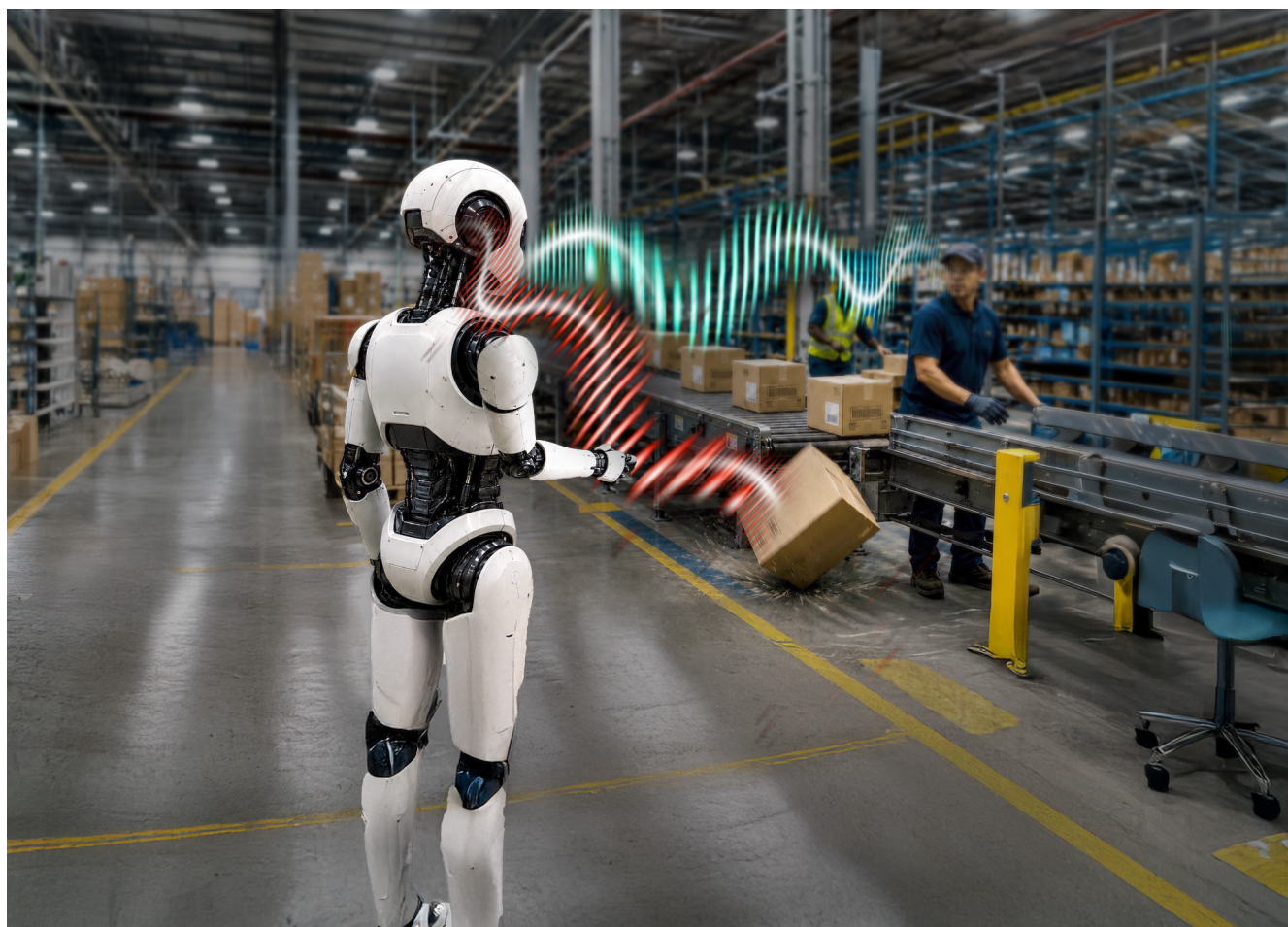


図 1. 工場作業員に危険な状況を音声で警告するヒューマノイド ロボット

スピーカの出力は、安全のためにも重要です。ヒューマノイドは、ユーザーへの応答、状況報告、緊急警報の放送であっても、付近の人々が常に情報を得て適切に対応できるように、明瞭で高品質の音声を生成する必要があります。明瞭でわかりやすい出力により、双方向のやりとりがより自然に感じられるようになり、協働的な環境で人間との信頼が築かれます。ロボットが聞き取りと発話を同時に行い、どちらのオーディオ信号も劣化させないようにするには、ノイズ抑制と音響エコーキャンセレーションをシステムに採用する必要があります。こうした技術により、両方が同時にアクティブな状態でも、入力音声を明瞭に、出力音声を聞き取りやすい状態に維持できます。

これらすべての機能を実現するには、アナログおよびデジタル入力をサポートするマイク集約処理から、バッテリーを消耗せずに出力電力を最大化する高効率 **Class-D** アンプまで、包括的なオーディオ シグナル チェーンが必要です。

これらの機能を有効にする方法

レコード パス アルゴリズム

実際の環境で効果的に通信を行うヒューマノイド ロボットは、通常ビームフォーミングを活用しています。これは、ロボットの頭部周囲に配置された 4 個以上のマイクから成るマイク アレイを用いる技術です。ビームフォーミング アルゴリズムでは、各マイクから取得したオーディオ データを処理して、最も強力なオーディオ信号の方向を特定します。特定した後、アルゴリズムは正確に計算された遅延時間を各マイクの入力に適用し、ピックアップ パターンを目的の音源方向に電子的に誘導します。設計者は、人間のスピーチや他の定義済みのサウンドなど、特定のプロファイルに合わせるために追加の調整を適用できます。

ビームフォーミングを使用すると、マイク アレイは特定の方向からの音声に焦点を合わせながら、他の場所からの望ましくないサウンドを除去することができます。また、マルチマイク方式では、チャンネル間の信号を合計することで遠距離音声の收音性能を向上させます。これにより、すべてのマイクに共通する音声を強調しながら、相関のないノイズを低減することができます。ビームフォーミングされたオーディオ信号に適用されるノイズ抑制アルゴリズムにより、信号がホストプロセッサに到達する前に、全体的なオーディオ品質がさらに向上します。

大電力、高効率

ヒューマノイド ロボットは多くの場合、スペースと温度に関して制約があります。大電力のモーターとプロセッサは、通気量が限られたコンパクトなスペースに収納されており、高温で動作する定格を備えた高効率アンプが必要となります。外部ヒートシンクが不要な集積回路 (IC) は、こうした制約の厳しい設計 (例: [図 2](#)) において明確な利点をもたらします。TI の [TAS6511-Q1](#) は、50W の出力電力を供給するモノラル アンプであり、最大 125°C の動作温度に対応し、すべてをパッドダウン 4mm x 4mm QFN パッケージに集積しています。アナログ入力アンプを使用する設計の場合、[TPA3132D2](#) アナログ入力 **Class-D** アンプはモノラル スピーカに 50W の出力を供給でき、I2C による設定は必要ありません。必要な出力が少ない場合、例えば、筐体が小さい場合や、周囲ノイズの低い環境の場合などは、[TAS6501-Q1](#) は 15W の出力電力の供給に対応します。

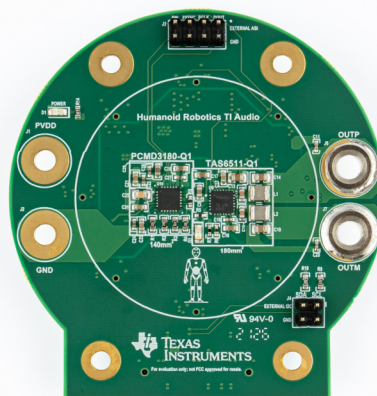


図 2. TI のヒューマノイド ロボット向けオーディオ サブシステムのリファレンス デザイン (TIDA-060054) に搭載された PDM / TDM オーディオ コンバータとオーディオ アンプ

現在におけるこうした機能の実装方法

マイク アレイ アグリゲータ

環境から受け取った音声を効果的に処理するために、ヒューマノイド ロボットはマイクのすべてのデータを、オンボードのホスト プロセッサが処理できる統一形式に集約する必要があります。一般的な実装方式は時分割多重 (TDM) オーディオバスであり、マイク アレイとプロセッサの間で共通の言語として機能します。

これを実現するには、マイクの集音方式と、ホスト プロセッサが想定する音声データの受信方式との間のギャップを埋める必要があります。アナログ マイクはアナログ データを記録し、デジタル マイクはパルス密度変調 (PDM) を記録しますが、どちらもホスト プロセッサに必要な TDM 形式ではありません。マイクとプロセッサの間のオーディオ コンバータは、これらの入力を集約して TDM に変換し、図 3 に示すように、システム レベルでシームレスなリアルタイムの音声処理を実現します。

TI では、両方の信号タイプに対応するソリューションを提供しています。TLV320ADC3140 はアナログ マイク用の高性能オーディオ ADC で、PCMD3180 はデジタル マイク用の PDM / TDM オーディオ コンバータです。どちらの場合も、すべてのマイク入力 TDM 形式でホスト プロセッサに到達します。

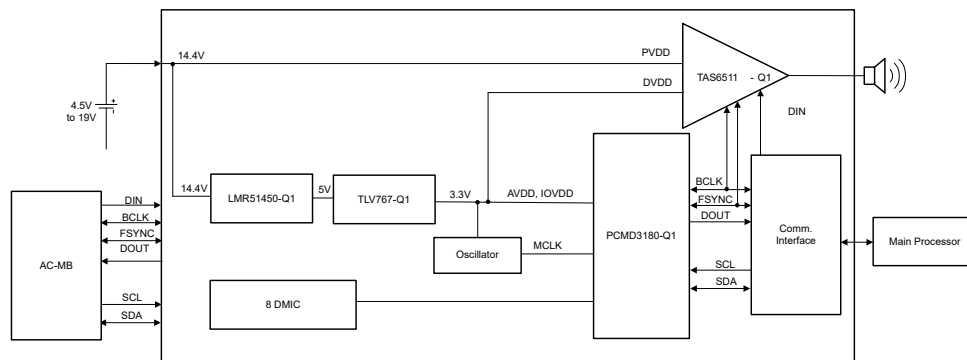


図 3. ヒューマノイド ロボットの代表的なオーディオ ブロック図

小型のソリューション サイズと低い BOM コスト

一部のヒューマノイド ロボットでは、オーディオ システムがヘッド ユニット内に収納されます。そこでは、制約の厳しいスペース内にマイクとスピーカを収めただけで、胸部付近のメイン プロセッサにデータを送る必要があります。スペースに制約があるこのような環境では、選択する IC のサイズと統合に関する要求が厳しくなります。

PCMD3180 オーディオ コンバータ、TAS6511-Q1 Class-D アンプ、TAC5212 低ノイズ オーディオ コーデックで使用される 4mm x 4mm クワッド フラット ノーリード (QFN) チップのような、小型で低プロファイルの IC パッケージは、基板スペースを圧迫することなく並べて配置できます。やや大きい 5mm x 5mm QFN デバイスの TPA3132D2 Class-D アンプは、外部の I2C 設定なしで動作します。

パッドダウン (底面接触) パッケージを採用することで、大型のヒートシンクが不要になります。これによって、デバイスの放熱管理が容易になり、ヘッド ユニット内の限られたスペースに収めることができます。TAS6511-Q1 は 2.1MHz スイッチング周波数で動作することで、出力フィルタ用インダクタのサイズを 10μH から 3.3μH へ大幅に小型化できるため、効率や出力品質を犠牲にすることなく、オーディオ シグナル チェーン全体をコンパクトな状態に維持することができます。

高効率、低消費電力

バッテリー動作時間は、ヒューマノイド ロボットの設計において最も重要な検討事項の 1 つです。モーター ドライバ、ホスト プロセッサ、認識センサ、オーディオ、その他のシステムのホストは、いずれも同じ電源から同時に電力を消費するため、各部品でエネルギー消費を最小化する必要があります。高効率と低アイドル時消費電力は、ヒューマノイドを実環境で運用可能にするための基本要件となります。

TI は、オーディオ製品ラインアップ全体でこの課題に直接対応しています。PCMD3180 コンバータはアイドル時の消費電力がわずか 2.5mW、TAS6511-Q1 アンプは同じ状態での消費電力が 0.5W 未満であるため、最大出力が不要なときに、オーディオ システムによるバッテリー消費を最小限に抑えることができます。最大出力時には、TAS6511-Q1 は 50W 出力電力時に業界最高クラスの 90% の効率を実現し、バッテリーの消費を最小限に抑えます。

ターンキー ソリューション

多くのヒューマノイド ロボット企業は、オーディオ開発に直接割り当てられる設計エンジニアリングのリソースが限られています。リソースはモーション、認識、AI などに分散しているため、オーディオ部品はすぐに見つけることができ、容易に実装できなければなりません。

TI は、このことを念頭に置いてオーディオ製品ラインアップを設計しています。各 IC は、PDM / TDM コンバータ、Class-D アンプ、オーディオ コーデックを含め、アプリケーション ノートと評価基板が付属し、TI のオーディオ設定ソフトウェアである **Pure Path Console** を通じてサポートが提供されます。設計者はこれらのリソースを利用することで、オーディオに関する高度な専門知識がなくても、オーディオ システムの設定、テスト、デバッグを迅速に行うことができます。

まとめ

ヒューマノイド ロボットが管理された環境から出て、工場、病院、家庭で使用されるにつれて、ロボットが人と共にどの程度適切に機能するかは、高精度のオーディオ品質によって決まるようになります。実環境のノイズの中で、明瞭に聞き取り、インテリジェントに対応し、安全にコミュニケーションを図る能力は、ロボットが有用で信頼できる存在になれるかを左右する基盤となります。TI のコンパクトで高効率の、統合しやすいオーディオ テクノロジーを採用することで、ロボット設計チームは、スペース、電力、開発時間を犠牲にせずにその課題に対応するためのツールを利用することができます。これにより設計者は、一歩先、つまり人々が生活し働く場所で安全に動作するロボットを構築することに集中できます。

その他の資料

- **部品の検索:** [PCMD3180](#)、[TAS6511-Q1](#)、[TAC5212](#)、[TPA3132D2](#) TI の [ロボティクス](#) 製品の概要をご覧ください。
- **設計の最適化:** [Pure Path Console](#) をダウンロードし、[TAC5212](#) と [PCMD3180](#) の消費電力に関するアプリケーション ノートを確認してください。
- **専門家に相談:** オーディオ設計に関する質問を [TI Audio E2E Forum](#) に投稿してください。

著者について

Jonathan Huang

Jonathan Huang は、オーディオ コンバータを専門とする、TI の製品マーケティング エンジニアです。ジョージア工科大学で電気工学の学士号を取得。余暇には新しい料理のレシピを試したり、海外旅行を楽しんでいます。

Ramsey Foote

Ramsey Foote は、オーディオ コンバータを専門とする、TI のシステム エンジニアです。イリノイ大学アーバナ シャンペーン校で電気工学の修士号を取得。余暇には、オーディオ機器の設計やロック クライミングを楽しんでいます。

Christian Greeff

Christian Greeff は、TI のロボット システム エンジニアで、専門はヒューマノイド ロボット ソリューションです。フロリダ農工大学で電気工学の学位を取得。電動自転車、電動ゴーカート、カスタム電動スキー リフト ウィンチ、20kW の電動パーソナル航空機などの個人プロジェクトを設計しています。

商標

すべての商標はそれぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月