

ヘッドホンのための透過方向を調整可能なニューラルネットワーク ANC

Neural Network-Based Active Noise Cancellation for Headphones with Adjustable Transparent Directionality

吉橋 宏哉[†] 村松 駿[‡] 吉田 孝博[†]
Hiroya Yoshihashi Shun Muramatsu Takahiro Yoshida

1. はじめに

環境騒音への対策手法の 1 つに、ノイズに対して同振幅かつ逆位相の音を再生することによって騒音を低減する ANC (Active Noise Cancellation) 技術があり、近年はヘッドホンなどに利用されている。こうした ANC ヘッドホンは外部の音をすべて騒音とみなすため、人の声や警告音などの聞きたい音も騒音として低減され、聞こえづらくなるという問題がある。この対策として、マイクロホンアレイによるヌルビームフォーマを用いて外部の聞きたい音と消音したいその他のノイズを分離して、ノイズのみを低減する手法が検討されている[1]。この先行研究は、人の声による呼びかけや自動車のクラクションなど方向性を有する到達音を目的音とし、その方向以外の音を騒音として打ち消す ANC システムを検証し、マイク 5 個、アレイ間隔 50 mm のマイクロホンアレイを使用し、目的音に正弦波を用いたシミュレーションを行い、目的音の音圧を変えずにそれ以外のノイズ成分を約 15 dB 低減することに成功した。しかし、ヘッドホンへの搭載を想定した場合、マイク 5 個、アレイ間隔 50 mm のマイクロホンアレイではサイズが大きくヘッドホンに収まらないため、より小型のマイクロホンアレイを使用する必要がある。

本研究では、ヘッドホンに搭載可能なサイズ、規模のマイクロホンアレイによって、目的音を残してその方向以外の音を低減する、透過方向を調整可能な ANC システムを実現することを目的とし、マイク 2 個、アレイ間隔 20 mm の小型で小規模なマイクロホンアレイと最小分散無歪 (MVDR) ビームフォーマ、フィードフォワード型のニューラルネットワーク ANC (NN-ANC) [2] を併用した手法を提案した。そして、提案手法の音源分離処理と ANC 処理の有効性を音響シミュレーションで生成した音源で評価した。

2. 提案手法

提案手法の処理の流れを図 1 に示す。ヘッドホン周辺の消音対象のノイズと、消音させない目的音を、マイク 2 個、アレイ間隔 20 mm のマイクロホンアレイで集音し、MVDR ビームフォーマで目的音がある方向の音を分離する。そして、集音されたノイズと目的音が混合されている元信号から、ビームフォーマで分離された目的音方向の信号波形を周波数領域で減算し、目的音を低減したノイズ波形を得る。このノイズ波形を参照マイク信号として NN-ANC に入力することで、ノイズに対する制御信号を生成し、この制御信号をヘッドホン内で再生することで、ヘッドホン内部で目的音を残してノイズのみを低減させる。NN-ANC には、ノイズの複数サンプルを入力し次の 1 サンプルを予測する many to one のモデル[2]を用いる。

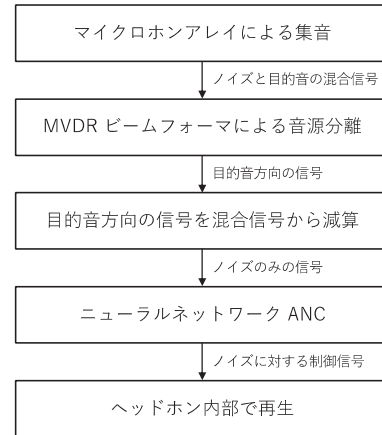


図 1 提案手法の処理の流れ

3. 評価方法

提案手法の評価は、MVDR ビームフォーマによるノイズと目的音の分離性能と、NN-ANC によるノイズの低減性能について行う。評価には、音響アレイ信号処理に特化した Python モジュールである PyRoomAcoustics を使用して作成した音源を用いる。マイクロホンアレイと音源の水平面での配置図を図 2 に示す。部屋を $2 \times 2 \times 2$ m として、部屋の中央にマイク (×) 2 個、アレイ間隔 2 cm のマイクロホンアレイを設置する。図 2 上方を正面方向とし、アレイ正面方向を 0 度、反時計回りを正とし、ノイズ (■) を -45 度方向に、目的音 (●) を 45 度方向に配置した。ノイズおよび目的音はともにマイクロホンアレイからの距離を 1 m として、高さをマイクロホンアレイと同じ 1.5 m とした。ノイズはライス大学が提供する音声データセット SPIB (Signal Processing Information Base) [3] から高域成分を多く含む定常ノイズである F16 を用い、目的音は 440 Hz の正弦波および複数の高調波成分を持つ三角波を用いた。目的音を正弦波とした場合、および三角波とした場合それぞれについて PyRoomAcoustics で 100 秒間のテスト音源 (目的音とノイズが混合された音源) を生成する。

今回のビームフォーマによる分離性能の評価では、目的音に対する指向性を高めるため、MVDR ビームフォーマのビームを目的音の音源方向 (-45 度) に、ヌルをノイズ音源方向 (45 度) にステアリングし、分離を行う。そして、テスト音源と分離後のノイズ音源の周波数特性、および聴感で分離効果を評価した。

NN-ANC によるノイズの低減性能の評価では、テスト音源と ANC 処理後の信号の周波数特性を比較し、目的音を残してノイズのみが低減されているかどうかについて評価した。ビームフォーマで分離されたノイズ信号を参照信号として NN-ANC に入力して制御信号を生成し、この制御

[†] 東京理科大学 Tokyo University of Science

[‡] 東京大学 The University of Tokyo

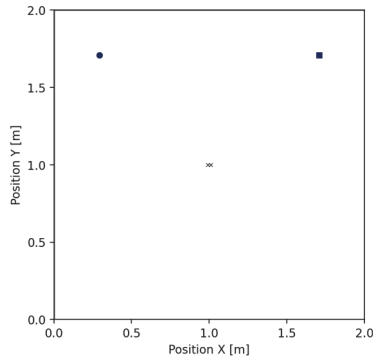


図2 マイクロホンアレイ (×), ノイズ (■), 目的音 (●) の水平面での配置

信号とテスト音源の各サンプルにおける和によって、ANC 処理後の信号を得る。NN-ANC は先行研究[2]で用いられた many to one のモデルを使用し、ニューラルネットワークには 1 層 LSTM (Long Short-Term Memory) を用い、隠れ層の入出力サイズを 30、活性化関数を双曲線正接関数、出力層に線形関数を用いて出力サイズを 1 とし、エポック数 100、学習率 10^{-5} 、損失関数の計算に交差エントロピー誤差を、最適化手法には Adam を用いた。学習には、先行研究[2]と同様に、ライス大学の SPIB (Signal Processing Information Base) [3]から、異なる周波数特性を持つ F16, Leopard, destroyer engine, Volvo と呼ばれる 4 種の定常ノイズを用い、NN-ANC モデルを学習した。

4. 評価結果

4.1 最小分散無歪ビームフォーマによる音源分離

本節では、MVDR ビームフォーマを用いたノイズと目的音の音源分離結果について述べる。テスト音源および分離後の目的音 (三角波) とノイズの周波数特性を、図 3 に示す。図 3 より、三角波の基本波成分 (440 Hz) およびその高調波成分 (1320 Hz, 2200 Hz などの奇数次倍音成分) と、その他のノイズの周波数成分が分離されていることが確認できる。よって、MVDR ビームフォーマを利用することで、マイク 2 個、アレイ間隔 20 mm のマイクロホンアレイでも、ノイズと目的音が分離できることがわかる。また、聴感においてもノイズと目的音の分離が確認できた。

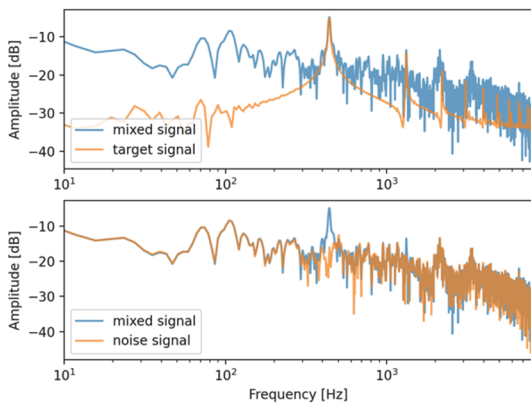


図3 テスト信号と分離後の三角波 (上) およびノイズ (下) の周波数特性

4.2 ニューラルネットワーク ANC によるノイズ低減

本節では、ノイズ信号を制御信号として、テスト音源に対する NN-ANC の処理結果について述べる。ここでも目的音に三角波を用いた場合について記述する。テスト音源および NN-ANC によりノイズのみを低減した ANC 処理後の信号の周波数特性を図 4 に示す。図 4 より、特に 500 ~ 5000 Hz 付近において、目的音とした三角波の振幅を変えずにその他のノイズ成分を 20 dB 程度低減していることが読み取れる。聴感でもノイズが抑圧され、目的音である三角波が明瞭に聞こえることが確認できた。なお目的音に正弦波を用いた場合も同様の結果を得た。従来手法のノイズ成分低減が約 15 dB であるため、同等以上の効果が確認された。

5. まとめ

本研究では、ヘッドホンに搭載可能な小サイズ、小規模のマイクロホンアレイによって、目的音を残してその方向以外の音を低減する、透過方向を調整可能な ANC システムを実現することを目的として、マイク 2 個のマイクロホンアレイと MVDR ビームフォーマ、NN-ANC を併用した手法を提案し、性能を評価した。その結果、マイク 2 個、アレイ間隔 20 mm のマイクロホンアレイにより従来手法と同等以上の効果が得られることを確認した。また、目的音に正弦波を用いた場合だけでなく、より多くの高調波成分を含む三角波を用いた場合も同様の効果が得られた。

今後の課題として、目的音に人の声などを用い、消音対象に多様なノイズを使用して、実環境の様々な音源配置で評価を行うことが挙げられる。また、本手法のそれぞれの適用先に応じて、目的音の選択方法についても併せて検討する必要がある。

参考文献

- [1] 小池祐太郎, “通過選択性を持たせたノイズキャンセルシステム,” 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, pp.485-486, 2014.
- [2] Samuel Park, Eric Patterson, Carl Baum, “Long Short-Term Memory and Convolutional Neural Networks for Active Noise Control,” 2019 5th International Conference on Frontiers of Signal Processing, 2019.
- [3] Don H. Johnson. Signal processing information database (SPIB), Rice University, Data retrieved from website <https://spib.linse.ufsc.br>

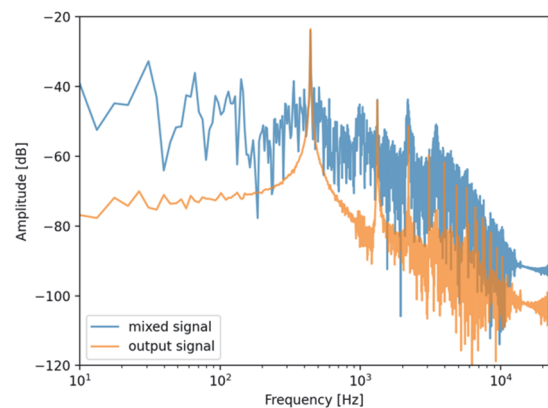


図4 ANC 処理前後の周波数特性 (目的音: 三角波)