

氏名	前野 悠		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 10445 号		
学位授与年月日	令和 4 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査学術院	理工情報生命学術院		
学位論文題目	Spatial Active Noise Control Based on Spatial Frequency Analysis Using Practical Microphone-Loudspeaker Array Structures (実用的なマイクロホンおよびスピーカアレイ構造を用いた空間周波数解析に基づく空間ノイズキャンセリング)		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	亀山 啓輔
副査	筑波大学 教授	工学博士	工藤 博幸
副査	筑波大学 教授	Ph.D. (生体工学)	酒井 宏
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	山田 武志
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	若槻 尚斗

論文の要旨

空間におけるアクティブノイズ制御(ANC)は、マイクロホンアレイによる検出とスピーカアレイによる打消し音の生成による、自動車の車内やオフィスなど(目的空間)における環境ノイズの遮断を目的とする。本論文は、ANC技術と空間音場制御技術を組み合わせた空間ANCの実用性を高めるための研究成果をまとめたものである。

第1章では、目的とする空間ANCの概要を述べ、その意義について論じている。また、同研究に関連する技術について概説し、研究成果の要約と論文の構成を説明している。

第2章では、空間ANCの基盤となる空間音場制御技術について解説している。観測されるノイズから最適な打消し音を生成する適応フィルタを得るための基本となるFiltered-X LMS法、その時間-周波数領域に適用することによる適応効率の改善、および球面調和基底を用いることによる目的空間の拡大について説明している。さらに、既存手法では目的空間に多数のマイクロホンとスピーカを設置する必要があることが実用面での課題であることを述べている。

第3章では、ノイズが少数音源から到来する平面波である場合に対する、圧縮センシングに基づく空間ANC解法を提案している。計算機実験では、平面内に同心円状に配置したマイクロホンとスピーカのアレイを用いた場合について評価を行い、マイクロホンの間隔に依存する空間ナイキスト周波数を超える雑音成分の除去も可能となり、従来法に比べて少数のマイクロホンとスピーカを用いた効率的な空間ANCが可能となることを示している。

第4章では、3次元の目的空間の静粛化において、従来法では目的空間を取り囲む球状のマイクロホンとスピーカのアレイが必要とされたのに対し、環状のアレイを複数用いた場合の空間ANC法を

円筒調和基底に基づき導出し評価を行っている。計算機実験により、2層に簡略化された環状アレイ構成でも3次元の目的空間に対して一定のノイズ抑制が可能であることを示している。

第5章では、前章同様の複数の環状アレイにおいて、オフィスなどでの利用を想定して到来方向(DOA)が水平に近いノイズの抑制により大きな重みを課す空間ANC法を提案し、想定するDOAのノイズに対して重みづけを行わない場合に比べて高いノイズ抑制能力があることを示した。

第6章では、球面調和基底における圧縮センシング解法の一般化により、参照マイクロホンをコンパクトに配置するなど自由度の高いアレイ構成を可能とするとともに、目的空間内で発せられる音は抑制しない実用的な空間ANCを実現している。

第7章では、論文の結論と今後の課題について述べている。

審査の要旨

【批評】

交通機関やオフィスなど外界からの雑音の遮断が求められる場所でのANCに基づく静粛化への期待は大きい。本研究は空間ANCの実用性を向上させる上で以下の貢献が認められる。

ノイズを打ち消す音場を生成する信号を得るための逆問題に対して、雑音の疎性(3章)、その到来方向(5章)等のアプリアリ情報を活用することで解を絞り込み、さらに圧縮センシングを活用した解法(3章、6章)を定式化しその有効性を確認している点は、解の探索法に更なる効率化の余地も見られるものの、空間ANCの実現の障害となりうるマイクロホンとスピーカの数や配置に関する制約を緩和する上で重要な成果であると評価できる。

また、球殻状に配置したマイクロホン・スピーカアレイを必要とした従来法に対して、新たな基底関数群に基づく空間音場のモデル化により、少数の環状アレイ(4章、5章)や、マイクロホンを雑音到来方向に集中配置したコンパクト配置アレイ(6章)等を用いて実用的な空間ANCが可能となることを示している点は、同技術の実用性を大きく前進させる上で独創的かつ重要な成果である。

さらに、新たな音場モデルの導入により、静粛化の対象とする音源を目的空間外に限定した空間ANC(6章)を提案している。この方式は、オフィス等の目的空間内での会話等を静粛化の対象外とすることができ、さらに実用上の必要に適合した静粛化方式となっている。

以上は単独の空間ANC系に対する計算機実験により確認されたものであり、さらに実環境下での評価や複数の空間ANC系間の干渉等も考慮に入れた評価が必要となるものの、その成果は一定の静粛化レベルと空間サイズを維持しつつ、アレイ構成素子数を減らし、配置の自由度を高めることに寄与するものであり、空間ANCの実用化に向けた優れた貢献であると見ることができる。

以上を総合的に判断し、本論文は博士の学位を受けるに値する研究成果であると認める。

【最終試験の結果】

令和4年1月28日、理工情報生命学術院において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とシステム情報工学研究群情報理工学位プログラムにおける達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。