

学 位 論 文 題 名

適応アルゴリズムを用いた自動車室内の音響および 騒音の制御に関する研究

学位論文内容の要旨

近年のデジタル信号処理技術の発展とデジタル演算処理デバイスの高速度、高集積度の急速な進展により様々な分野においてデジタル信号処理技術の応用に関する研究開発が盛んに行われている。自動車分野においてもエンジン燃焼制御やトランスミッション制御に代表される自動車走行に関わる制御に加え、走行に伴い発生する自動車室内騒音の低減を目的としたデジタル信号処理技術による騒音の実時間オンライン制御や自動車室内での音楽再生特性の改善を目的としたオフライン制御による音響再生系の等価回路の設計などが実現され、普及に向け更なる実用化に向けた検討が進められている。

このような自動車室内特有の様々な問題を解決するアプローチのひとつとして適応信号処理アルゴリズム (適応アルゴリズム) が広く用いられている。適応アルゴリズムにより騒音と振幅が等しく逆位相の制御音を生成し騒音を低減する能動騒音制御システムでは、生成された制御音が伝播する音響系を事前に同定しその伝播モデルを正しくアルゴリズム内に組み込むことが騒音低減性能を得る上で重要であるが、実時間オンライン制御を行う上でアルゴリズムの演算量を大幅に増やすことなくより精度の高い伝播モデルを実現することは重要な課題である。

適応アルゴリズムを用いた能動騒音制御システムの騒音低減性能を決定付けるもうひとつのパラメータとして参照信号の決定がある。低減対象である騒音と十分にコヒーレントな参照信号を決定することが極めて重要である。ランダム性騒音として知られるロードノイズは走行に伴うサスペンション機構の振動がその支持部に伝達されることにより自動車室内に伝播される。ロードノイズの能動騒音制御システムでは、サスペンション支持部やサスペンション機構に設置された加速度センサにより振動を検出し参照信号として用いられるが、その品質はマルチコヒーレンス関数で評価され決定される。そのため参照信号としての品質を獲得するために多くの加速センサを用い振動を検出するため参照信号数が多くなりシステム規模が大きくなってしまいう課題がある。

本研究は、適応アルゴリズムを用いた自動車室内の音響および騒音の制御に関し

1. FIR フィルタにより実現された非最小位相推移フィルタをより演算量の少ない ARMA ダイレクトフォームフィルタに変換するための設計方法についての検討

2. 参照信号数を少なくするための参照信号の集約手法の実現についての検討

を中心に行い、自動車室内の音響および騒音の制御への適応アルゴリズムの応用拡大へ寄与するとともに、新たな応用分野を見出すことにある。本論文は 5 章から構成されており、各章を要約すると以下ようになる。

第 1 章は、序論であり、自動車室内の音響特徴および騒音課題と、適応アルゴリズムを応用したそれらの能動制御の研究動向について述べる。また、本研究の目的、位置づけ、構成について述べる。

第2章では、適応アルゴリズムを用い設計された自動車室内音響伝播特性の擬似逆フィルタである非最小位相推移 FIR フィルタと同じ特性を実現する演算量の少ない ARMA ダイレクトフォームフィルタを設計するための手法として遺伝的アルゴリズム (GA) とシミュレーテッドアニーリング (SA) を適用し、非最小位相特性を実現するために位相特性を評価する位相特性の2乗誤差を導入したフィットネス関数を提案し、その効果により ARMA ダイレクトフォームフィルタの位相特性を操作することが出来ることを明らかにしている。

第3章では、適応アルゴリズムを用いたロードノイズの能動騒音制御において、複数の加速度センサにより検出された参照信号群からより少ない新たな参照信号群を生成するためのフィルタ群の設計法を提案している。これらのフィルタ群は参照信号群のマルチパワースペクトラムマトリクスの特異値分解 (SVD) を用い求められる。数値計算の結果として、提案されたフィルタ群による新たな参照信号群にても従来同等の能動騒音制御性能が得られることを明らかにしている。

第4章では、適応アルゴリズムを用いた FM 放送の移動体受信時に発生するマルチパスノイズ妨害等価時のシステム安定性を向上させるための手法として誤差信号への振幅制限の導入を提案し、その効果によりシステム動作の安定性が向上することを明らかにしている。

第5章は、以上の章の結論として、本研究で得られた結果の要点を述べる。
本研究は、自動車室内の音響および騒音を制御する上で必要不可欠な非最小位相推移フィルタの設計技術および能動騒音制御装置の設計技術に寄与するとともに、更なる適応アルゴリズムの応用技術の実現に貢献することが期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷山 美 紀

副 査 教 授 荒 木 健 治

副 査 教 授 山 本 強

学 位 論 文 題 名

適応アルゴリズムを用いた自動車室内の音響および 騒音の制御に関する研究

近年のデジタル信号処理技術の発展と、デジタル演算処理デバイスの高速度化、高集積化の急速な進展により、デジタル信号処理技術の応用に関する研究開発がさまざまな分野において盛んに行われている。自動車分野における応用では、エンジン燃焼制御やトランスミッション制御に代表される自動車走行に関わる制御に加え、適応信号処理アルゴリズムを用いた自動車室内の音響環境や騒音環境の制御に関する研究が盛んに行われている。しかし、その多くは適応信号処理アルゴリズムの動作と性能に関する基礎的な研究を目的としており、適応信号処理アルゴリズムの実用化に向けた応用研究は、十分には行われていないのが現状である。

本論文は、このような現況にある適応信号処理アルゴリズムの実用化に向けた応用研究について、特に、自動車室内の音響と騒音を改善する手法として実製品に組み込む上で障害となっている解決すべき課題について応用事例と共に整理し、実用的かつ有益な対処法を確立することを目的として研究し、適応信号処理アルゴリズムの応用拡大へ寄与するとともに、新たな応用分野を見出すことを狙いとしている。

その研究の成果としては、ひとつには、適応信号処理アルゴリズムを用いて設計された自動車室内の音響伝播特性を等化する非最小位相特性を持つ FIR フィルタをより演算量の少ない任意の構造を持つフィルタに変換するために、振幅周波数特性と位相周波数特性を合わせて評価できるフィットネス関数を導入した遺伝的アルゴリズム (GA) と焼きなまし法 (SA) によるフィルタ係数探索が有効であることを明らかにした。これにより、自動車室内の音響および騒音を制御する上で必要不可欠な、非最小位相特性フィルタを少ない演算量で実現できる設計技術を提供し、音響等化装置と能動騒音制御装置の設計技術に直接寄与することが期待される。

さらに、能動騒音制御システムに用いる参照信号に関し、その数の増加により能動騒音制御装置のシステム規模を増大させる参照信号を集約するためのフィルタ同定手法として、参照信号の相互パワースペクトラム行列の特異値分解を元とした合成法を導入し、新たに合成された仮想参照信号を用いて能動騒音制御装置の性能が確保できることを明らかにした。これにより、能動騒音制御に用いる参照信号の数を減らすことが可能となり、能動騒音制御装置のシステムコストの

低減と設計技術に直接寄与し応用拡大への貢献が期待される。

さらに、著者は、放送局より送信された電波が伝播する過程で発生した多重伝送路歪が、原信号にノイズとして重畳された現象として捉えられる FM ラジオ放送のマルチパス妨害により、自動車室内で発生するノイズを除去する等化システムとして用いられる CMA (定包絡線基準アルゴリズム) 適応フィルタの挙動に関し、パルス性ノイズの入力によりシステム発散に至ることを検証した。そして、このパルス性ノイズによるシステム発散を防止する手法として、CMA 適応フィルタの係数更新計算に用いる瞬時誤差信号に振幅制限を付加することが有効であることを明らかにした。これにより、CMA 適応フィルタの性能を低下させることなく、システム実装時の安定性を向上させる手法を提供することが可能となり、CMA 適応フィルタを用いた制御装置の設計技術に直接寄与することができると共に、CMA 適応フィルタの応用拡大に寄与することが期待される。

これを要するに、著者は、適応アルゴリズムを用いた自動車室内の音響と騒音の制御について、その実装と応用に関する新知見を得たものであり、適応信号処理技術に対して実装性能改善と応用拡大に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。