

氏 名 (本 籍)	齋 藤 望 (福 島 県)
学 位 の 種 類	博 士 (情 報 科 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 24 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 8 年 3 月 26 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 , 専 攻	東 北 大 学 大 学 院 情 報 科 学 研 究 科 (博 士 課 程) シ ス テ ム 情 報 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	能 動 騒 音 制 御 に 用 いる 適 応 ア ル ゴ リ ズ ム の 誤 動 作 と そ の 改 善 手 法 に 関 する 研 究
論 文 審 査 委 員	(主 査) 東 北 大 学 教 授 曾 根 敏 夫 東 北 大 学 教 授 根 元 義 章 東 北 大 学 教 授 阿 部 健 一 東 北 大 学 助 教 授 鈴 木 陽 一 (工 学 研 究 科) 東 北 大 学 助 教 授 安 倍 正 人

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

騒音の能動制御法は、現在、広く用いられている受動制御法の欠点を補える特長を有している。それゆえ、両者を併用することで、より効果的な騒音対策が実現できると期待され、近年、幅広い分野への適用が検討されている。

能動騒音制御システムは、図 1 に示すように、騒音と同振幅、逆位相の関係にある音波を合成し、これを用いて騒音の制御を行うものである。適応フィルタは、制御点に設置したマイクロホンで得られる誤差信号のパワーが最小となるよう、打ち消し音を制御することで騒音を制御する。しかし、制御音源から放射された打ち消し音は、空間を伝搬した後、制御点に到達するため、適応フィルタは、この伝搬特性をも考慮して動作するものでなければならない。そこで、現在のシステムでは、あらかじめ打ち消し音伝達系の特性を同定しておき、それに基づいて適応を行う場合が多い。しかし、特性変動などの要因により、打ち消し音伝達系の特性とモデルのそれとにずれ（モデル化誤差）が生じた場合、適応フィルタは誤動作を生じ、消音性能は一般に劣化してしまう。ところが、このような誤動作の実態やそれへの対処法については、十分に検討されているとはいえない。本論文は、このような観点から、モデル化誤差に起因する適応フィルタの誤動作と、その対処法について行った研究の成果をまとめたものである。

第 2 章 モデル化誤差に起因する誤動作の時間領域における評価

本章では、モデル化誤差の存在下における、適応フィルタの挙動を記述する理論式を導き、それを基礎として、モデル化誤差が適応フィルタの安定性や収束特性、および収束値に与える影響について考察している。また、理論式により得られる計算結果と計算機シミュレーションの結果とを比較することにより、理論的に得られた結論の検証も行っている。

図 2 に、モデルを簡略化することでモデル化誤差を発生させた場合の消音性能を求めた結果を示す。理論計算値とシミュレーション結果とは、よく一致しており、導いた理論式により、モデル化誤差の影響を精度良く評価できることがわかる。また、図 2 より、本研究で対象とした適応アルゴリズム（フィルタード XLMS アルゴリズム）は、モデル化誤差に対する安定性は高いものの、モデル化誤差が比較的大きくなると、消音性能の大幅な劣化を発生させることがわかる。したがって、打ち消し音伝達系の特性が変動する場合には、その特性をオンラインで同定するようにするか、モ

デル化誤差の影響を受けにくいよう、システムを構成しておく必要がある。

第3章 モデル化誤差に起因する誤動作の周波数領域における評価

本章では、第2章で導いた理論式を離散フーリエ変換することで、周波数領域における理論式を導き、モデル化誤差の存在下における適応フィルタの挙動が、実際の適応用参照信号と理想的なそれとのクロスパワースペクトル、および実際の適応用参照信号と騒音とのクロスパワースペクトルから予測可能であることを示している。また、導いた理論式を基礎として、モデル化誤差の影響を周波数領域で理論的に考察し、計算機シミュレーション、および実験によりその検証を行っている。

なお、周波数領域において考察を行うことにより、参照信号のオートパワースペクトルや、騒音および打ち消し音伝達系、あるいはそのモデルの伝達関数からも、動作の概要を把握することが可能となる。また、制御システムの仕様（消音性能の下限など）が与えられた場合に、システムの各構成要素（打ち消し音伝達系やそのモデルの特性など）が満たすべき条件を考察することも容易となる。

第4章 モデル化誤差の影響に対してロバストな能動騒音制御システム

本章では、モデル化誤差の影響を受けにくいシステム、すなわち、モデル化誤差に対しロバストなシステムの特徴について検討を行っている。まず、モデル化誤差が、適応フィルタの収束値や過渡的な収束特性に及ぼす影響を決定づける要因について理論的に考察し、次に、騒音および打ち消し音伝達系が有する特性とモデル化誤差に対するロバスト性との関係についても検討を行っている。また、以上の検討の結果、以下の結論を得ている。

- ・ 騒音伝達系を図3のように分解したとき、 $\Delta h = 0$ であれば、適応フィルタの収束値はモデル化誤差の影響を受けず、消音性能も劣化しない。
- ・ 打ち消し音伝達系の振幅周波数特性に、ゲインが小さい帯域が存在する場合、およびその特性にゲインが大きい帯域と小さい帯域の両方が存在する場合には、モデル化誤差の影響を受けやすい。
- ・ モデル化誤差が生じて、実際の適応用参照信号と理想状態におけるそれとの相互相関行列が、理想状態において得られる相関行列の相似変換で与えられるとき、適応フィルタの過渡的な収束特性は、モデル化誤差の影響を受けない。

なお、ここでは、以上の結論の妥当性を計算機シミュレーションにより検証している。また、以上の知見に基づいて、モデル化誤差に対するロバスト性を向上させるための信号処理に関する考察を行い、適応用参照信号の白色化が有効であることを示している。

第5章 オンライン同定を用いた誤動作への対処法

本章では、打ち消し音伝達系のオンライン同定を用いたモデル化誤差への対処法について検討を行っている。なお、ここでは、消音を行なうことで得られる情報を最大限に利用する同定法を構築することを目的とし、図4に示すオンライン同定システムを対象とした。

具体的には、まず、消音用適応フィルタの係数が時間的に変動しないとき、それが満たすべき条件について検討し、その結果、未知伝達系（騒音および打ち消し音伝達系）に含まれる未知数個分の独立な方程式が得られるよう、消音用適応フィルタの特性を制御すれば、未知系を正確に同定可能であることを明らかにしている。次に、消音用適応フィルタの収束値が、上記の同定条件を自動的に満たす可能性についても考察を行っている。また、消音用適応フィルタの特性が変動している場合には、一般に正確な同定が可能であることも、理論的な検討、および計算機シミュレーションにより、検証している。したがって、消音用適応フィルタのタップ係数値を観測し、これらが上記の条件を満たさないときのみ、消音用適応フィルタの係数値を制御することで、消音性能の劣化を最小に抑え、かつ正確なオンライン同定を行うことが可能となる。

第6章 結 論

本章は、結論として、本論文の内容を要約するとともに、今後の課題についてまとめたものである。

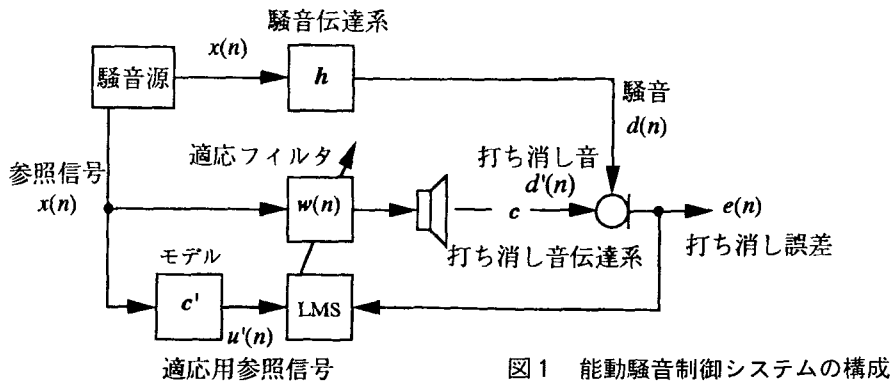


図1 能動騒音制御システムの構成

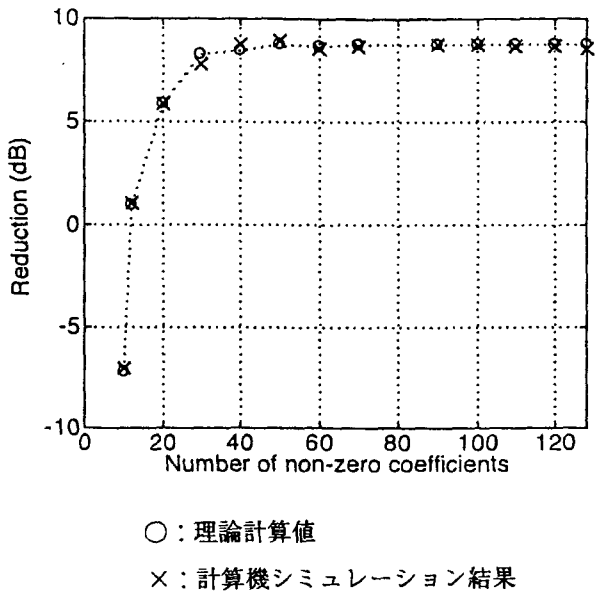


図2 モデル化誤差発生時の消音性能

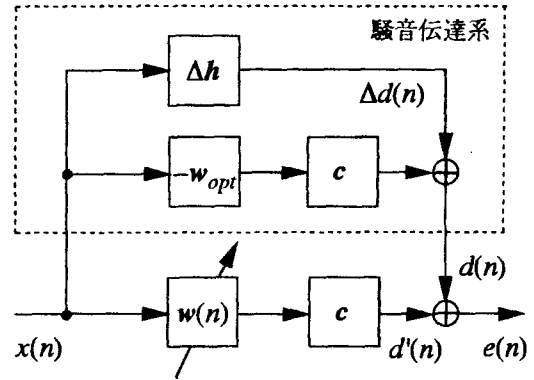


図3 騒音伝達系の分解

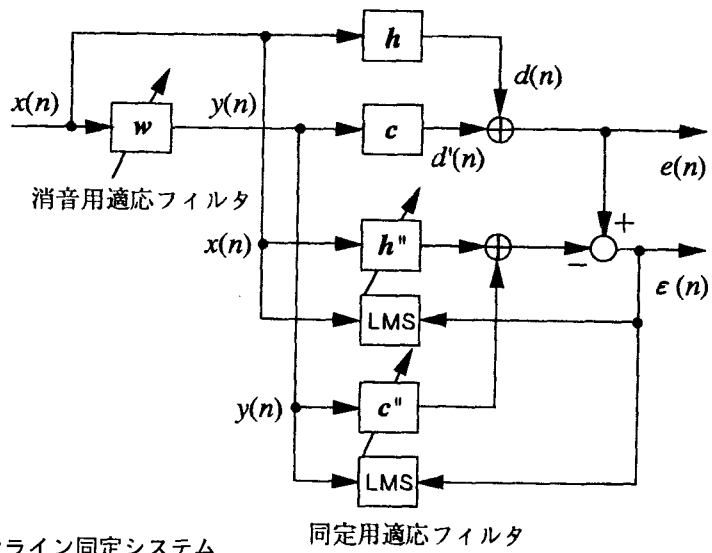


図4 オンライン同定システム

審査結果の要旨

能動騒音制御では、制御点において、騒音と逆位相になる打ち消し音を放射し、騒音を低減するが、そのための適応フィルタを構成するのに、制御音源から制御点までの打ち消し音伝達特性のモデルを必要とする。このモデルの精度は、能動騒音制御システムの性能に大きな影響を与えるにも拘らず、解析の困難さから、これまで、ほとんど検討が行われていなかった。筆者は、この点に着目し、モデル化誤差（モデルと実際の伝達特性の差）に伴う適応フィルタの誤動作とその対処法について研究を進めてきた。本論文は、その研究の成果をまとめたもので、全編6章からなる。

第1章は、序論である。

第2章では、モデル化誤差の存在下における適応フィルタの挙動を、1階の差分方程式として定式化し、モデル化誤差の影響を時間領域で記述する理論式を導いている。それを基に、モデル化誤差に伴う適応フィルタの安定性や、収束速度、モデル化誤差の消音性能への影響について考察している。これは、優れた着想に基づく有用な成果である。

第3章では、前章で導いた理論式の変換により、より単純な周波数領域の理論式を導出している。この理論式は、時間領域のそれに比べて、精度はやや劣るものの、適応フィルタのモデル化誤差の影響の概略を、直観的に理解し易い形で知ることができるので、実用上評価できる成果である。

第4章では、前章までの理論式に基づいて解析を行い、モデル化誤差が適応フィルタの収束値や消音性能に与える影響は、フィルタに入力される実際の参照信号とモデル化誤差のない理想の場合の参照信号との相互相関関数で与えられることを明らかにするとともに、モデル化誤差に対するシステムのロバスト性を向上させる方法についても考察を行っている。これらは、実用的な能動騒音制御システムを構成するうえで、有用な成果である。

打ち消し音の伝達特性を同定するのに、従来、制御音源から同定用信号を発生してオンライン同定する方法が提案されているが、第5章において、筆者は、騒音制御の立場からは、その方法は望ましくないことを示し、消音動作に伴って得られる情報だけから、伝達系の同定が可能となる条件について検討している。その結果、消音用適応フィルタのタップ長を騒音伝達系のインパルス応答系列より長くすれば、実際の環境下では、ほとんどの場合、同定が可能となることを示している。これらの知見は、モデル化誤差に対してロバストな制御システムの実現を可能にするものとして、高く評価できる。

第6章は、結論である。

以上要するに、本論文は、能動騒音制御システムにおける打ち消し伝達系のモデル化誤差に起因する適応フィルタの誤動作を明らかにするとともに、モデル化誤差に対してロバストなシステムの構成法を与えたものであり、システム情報科学ならびに騒音制御工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。