

氏 名	ひなもと よういち 雛 元 洋 一
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学位記番号	情 博 第 203 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 23 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	情報学研究科システム科学専攻
学位論文題目	Studies on Adaptive Algorithms for Active Control of Multitonal Noise (多調波騒音の能動制御のための適応アルゴリズムに関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 酒 井 英 昭 教授 杉 江 俊 治 教授 熊 本 博 光

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、多調波騒音を能動制御するための幾つかの適応アルゴリズムとそれらの収束特性の解析および周波数ミスマッチによる影響について研究することを目的としており、全体で7章から構成されている。

第1章では、能動騒音制御の歴史的背景について述べるとともに、これまでに行われた研究の調査とその応用事例について解説しており、その中で、本研究では特に狭帯域適応フィードフォワード制御方式を扱っていることを説明している。その後、論文全体の構成を簡単に紹介している。

第2章では、多調波参照信号をもつLMSアルゴリズムの厳密な解析を線形システム理論の手法を用いて行っている。まず、リアプノフ関数法とPBHテストを用いて、LMSアルゴリズムが収束するための必要十分条件をステップサイズに関して導出している。また、過渡特性の解析を行い、過渡状態の影響を最小化するステップサイズの最適な選択法を求めている。次に、観測雑音の影響を調べた後に、超過平均2乗誤差(EMSE)に対する厳密な表現式を導いている。さらに、適応アルゴリズムで実際に使われる周波数とその真値の間に誤差がある場合、すなわち、周波数ミスマッチが存在する場合、適応アルゴリズムの性能はかなり劣化するが、この周波数ミスマッチによるLMSアルゴリズムへの影響を考察している。

第3章では、第2章の場合とは異なり、ここでは2次経路の影響を考慮している。最初に、2つの周期性騒音源によって発生された2調波騒音の能動制御に2調波参照信号をもつ複素 filtered-X LMS (FXLMS) アルゴリズムを適用し、次に、確定的相関行列の固有値-固有ベクトル分解と状態空間アプローチを用いてその収束特性を解析している。

第4章では、第3章の場合よりも一般的な、任意の個数の周期性騒音源によって発生された多調波騒音の能動制御に複素 FXLMS アルゴリズムを適用した後、それに関連した新たな適応アルゴリズムを提案している。まず、FXLMS アルゴリズムを記述する等価な線形システムの特性多項式を導き、適応ステップサイズについての安定限界を計算する方法を与えている。次に、FXLMS アルゴリズムはタップ重みの変化が緩やかであるという仮定の下に導出されているため、この仮定を必要としないタップ重みに関して非線形となる新しい適応アルゴリズムを提案している。シミュレーション実験では、提案された適応アルゴリズムが適応の初期の段階において誤差信号のより速い減衰を与え、ステップサイズを選択においてロバストであることが確認されている。

第5章では、第4章での適応アルゴリズムにおいて、周波数ミスマッチが存在する場合を考察している。ここでは、正弦波参照信号をもつ FXLMS アルゴリズムにおける周波数ミスマッチの正確な影響について、状態空間アプローチと等価伝達関数法を用いて解析している。さらに、周波数ミスマッチが十分小さい場合において、提案された適応アルゴリズムにおける周波数ミスマッチの影響が FXLMS アルゴリズムにおける周波数ミスマッチの影響に近づくことを明らかにしている。

第6章では、複数の周期性騒音源によって発生された多調波騒音の能動制御に filtered-X アフィン直交射影アルゴリズムを適用し、多調波参照信号を用いた filtered-X アフィン直交射影アルゴリズムの収束性について解析している。アフィン直交射影アルゴリズムによる収束速度は FXLMS アルゴリズムによる場合よりも速いことが、シミュレーション実験に

よって確認されている。

第7章では、本論文での成果の総括と今後の展望を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、多調波騒音を能動制御するための幾つかの適応アルゴリズムとそれらの収束特性の解析および周波数ミスマッチによる影響について研究することを目的としており、その成果は以下のように要約される。

1. 多調波参照信号をもつ LMS アルゴリズムの厳密な解析を線形システム理論の手法を用いて行なった。まず、リアプノフ関数法に基づき、LMS アルゴリズムが収束するための必要十分条件をステップサイズに関して導出した。また、過渡特性の解析を行い、過渡状態の影響を最小化するステップサイズの最適な選択法を与えた。次に、観測雑音の影響を調べた後に、超過平均 2 乗誤差 (EMSE) に対する厳密な表現式を導いた。さらに、適応アルゴリズムで実際に使われる周波数とその真値の間に誤差がある場合、すなわち、周波数ミスマッチが存在する場合、適応アルゴリズムの性能はかなり劣化するが、この周波数ミスマッチによる LMS アルゴリズムへの影響について考察した。

2. 上記の 1. の場合とは異なり、ここでは 2 次経路の影響を考慮している。この場合、一般的な、任意の個数の周期性騒音源によって発生された多調波騒音の能動制御に複素 filtered-X LMS (FXLMS) アルゴリズムを適用した後、それに関連した新たな適応アルゴリズムを提案した。まず、FXLMS アルゴリズムを記述する等価な線形システムの特性多項式を導き、適応ステップサイズについての安定限界を計算する方法を与えた。次に、FXLMS アルゴリズムはタップ重みの変化が緩やかであるという仮定の下に導出されているため、この仮定を必要としないタップ重みに関して非線形となる新しい適応アルゴリズムを提案した。シミュレーション実験では、提案された適応アルゴリズムが適応の初期の段階において誤差信号のより速い減衰を与え、ステップサイズの選択においてロバストであることが確認された。

3. 上記の 2. において周波数ミスマッチが存在する場合を考察した。ここでは、正弦波参照信号をもつ FXLMS アルゴリズムにおける周波数ミスマッチの正確な影響について、状態空間アプローチと等価伝達関数法を用いて解析した。さらに、周波数ミスマッチが十分小さい場合において、提案された適応アルゴリズムにおける周波数ミスマッチの影響が FXLMS アルゴリズムにおける周波数ミスマッチの影響に近づくことが明らかにされた。

4. 複数の周期性騒音源によって発生された多調波騒音の能動制御に filtered-X アフィン直交射影アルゴリズムを適用し、多調波参照信号を用いた filtered-X アフィン直交射影アルゴリズムの収束性について解析した。アフィン直交射影アルゴリズムによる収束速度は FXLMS アルゴリズムによる場合よりも速いことが、シミュレーション実験によって確認された。

以上要するに本論文は、能動騒音制御における狭帯域適応フィードフォワード制御方式に対して斬新かつ重要な知見を提供しており、今後の発展に大きく寄与する内容で、その意義は極めて大きい。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成18年2月10日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。