

(論文内容の要旨)

本論文は自動車用のエンジンを実際に稼働させながら電子制御装置などを調整する「適合」を行う方法として多目的進化的最適化手法の適用方法を研究した結果をまとめたものであり、9章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と問題への接近法について概観している。

第2章では自動車用のエンジンの適合について述べている。エンジンの電子制御に用いられるマップ制御方式について概要を述べ、従来の適合手法であるシミュレーションによる方法や応答局面法を紹介している。さらに、本研究で使用した実機エンジンを用いる実験環境としてハードウェアインザループシミュレーション(HILS)についてその概要を述べている。

第3章では本手法の接近法である多目的進化的最適化手法について概観し、同手法を実験により計測される評価値を用いる実験ベースの多目的最適化に適用する場合の問題点を指摘している。

第4章では実験ベースの多目的最適化の問題として評価値の観測雑音の取り扱いを検討している。問題の定式化と先行研究について述べた後、探索履歴として蓄積した観測値からの評価値の推定、多様性を維持するための選択・世代交代方法などの工夫を加えた MFE-DSGA (Memory-based Fitness Estimation and Distribution-based Selection Genetic Algorithm) という手法を提案している。そしてテスト関数を用いた数値実験と HILS 環境での実験によって、既存手法に比べ提案手法により雑音のある環境下での多目的最適化が効果的に行えることを明らかにしている。

第5章ではエンジンなど回転機に特有の問題である周期性のある変数を進化的計算の一種である遺伝的アルゴリズムで扱うための交叉手法を検討している。周期性のある決定変数として角度を取り上げ、角度を単位円上の点として2次元空間上に表現し、2次元空間上で実数値GAの交叉手法を適用した後に角度に変換する UNDX-P (Unimodal Normal Distribution Crossover for Periodic Function)を提案している。そして同交叉の基本的な性質を示した上で、テスト関数を用いた数値実験により、その性能を確認している。

第6章では実験ベースの最適化特有の問題として、探索パラメータの変更に伴う実験対象の過渡応答のため測定に時間を要する問題を検討している。その解決策として多目的遺伝的アルゴリズムの個体群を評価する際に、過渡応答の影響を低減し評価値の計測に要する時間を短縮する手法として個体群評価のスケジューリング法を提案している。提案手法は過渡応答を低減するように個体群の評価順序をスケジュールする方法と評価値計測の対象としない過渡応答時間を見積もる評価時間スケジュールから構成されている。提案手法の有効性はテスト関数を用いた数値実験とHILS環境を用いた実機実験で検証されており、探索精度の向上と探索時間の削減を実現している。

第7章では解の評価回数が制限される実験ベースの多目的最適化を加速するための方法として、評価値の推定値を利用する方法を検討している。その手法として、評価値を局所加重回帰で推定する方法と、推定された評価値を用いて探索点のうち見込みの低いものを除去するプリセクション法の多目的最適化への利用を提案している。テスト関数を用いて提案手法の性能を確認した後、HILS環境を用いた実験で、同手法により探索時間を従来手法の13%までに大幅に削減できることを示し、エンジン適合への応用において実用的な時間での探索が可能であることを明らかにしている。

第8章ではエンジンのマップ制御において必要となる多数の動作点での制御パラメータの決定問題について検討している。その対応として、問題をパラメトリック多目的最適化問題として定式化し、既探索の結果を内挿して未探索の動作点での多目的最適化を効率化する手法を提案している。テスト関数を用いた数値実験により、従来手法に比べ提案手法が探索を大幅に効率化する可能性を持つことを示している。

第9章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は自動車用のエンジンを稼働させながら電子制御装置などを調整する適合を行う方法として多目的進化的最適化手法の適用方法を研究した結果をまとめたものであり、得られた主な結果は次のとおりである。

1. 実験により評価値を得ながら行う実験ベースの多目的進化的最適化の問題点として評価値に含まれる観測雑音の問題を指摘し、探索履歴を用いた評価値の推定や個体群の多様性の維持に配慮する工夫を行った手法としてMFE-DSGA (Memory-based Fitness Estimation and Distribution-based Selection Genetic Algorithm) を提案した。テスト関数を用いた数値実験と実機実験により提案手法の有効性を確認している。

2. エンジンなど回転機に特有な周期性のある変数を遺伝的アルゴリズムで扱う際の問題を指摘し、周期性のある変数を単位円上の点として表現し、既存の実数値GAの交叉方法を適応した後、もとの変数に変換する交叉方法UNDX-P (Unimodal Normal Distribution Crossover for Periodic Function) を提案した。数値実験により提案手法の有効性が確認されている。

3. 実験ベースの最適化において探索パラメータの変更に伴う過渡応答の評価値への影響を低減する解の評価スケジュール手法を提案した。数値実験と実機実験を通じて提案手法により探索時間の削減と解の精度向上が実現されることを確認している。

4. 解の評価回数が制限される実験ベースの最適化において、探索履歴から局所加重回帰により評価値を推定し、推定値を用いて見込みの低い解の評価を抑制する手法を提案した。実機実験では提案手法により探索時間を既存手法の13%にまで削減しており、実用レベルの探索時間を実現している。

5. エンジンのマップ制御が必要とする多数の動作点での制御パラメータの決定問題をパラメトリック多目的最適化問題として定式化し、既探索の結果を内挿して未探索の動作点での多目的最適化を効率化する手法を提案した。テスト関数を用いた数値実験により提案手法が探索を大幅に効率化する可能性を有していることを示している。

以上、本論文は自動車用のエンジンの適合に多目的進化的最適化手法の適用方法をまとめたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成20年8月4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。