

自動車制御開発における多目的最適化技術の適用

手塚 俊介[†] 喜瀬 勝之[†]

富士重工業株式会社[†]

1. はじめに

自動車開発において最適化技術の適用領域は広く、機械・材料設計から制御システム設計まで多くの局面で活用されている。特に、複数の目的変数の間に潜伏するトレードオフ関係を明確にし、その最適なバランスを探索する多目的最適化技術は、高品質で低コストな商品を作り上げる上で重要な技術である。

本論文では目的変数の値を自動運転される実車両から取得する事を特徴とする、多目的遺伝的アルゴリズム (MOGA) による実車ベース最適化の実施例を報告する。

2. 現状と課題

シミュレーションを用いた設計最適化技術は CAE をはじめ自動車制御開発において現在広く利用され、知識獲得や意思決定支援等において重要な役割を担っている⁽¹⁾。一方でモデル精度の限界を理由とする現物との差異がある為、最終的に実車両を運転しながらの制御パラメータ調整に多くのコストが投入されているのが現状である。

そこで、この調整作業を最適化問題と置き、パラメータを解とする実車ベースでの最適化手法の開発が行われている (Fig.1)⁽²⁾。人手による調整コストの削減は、開発者に、より高い性能を追及する余地を与え品質の均一化にも貢献できる。しかし実車最適化には、

複数の目的変数を考慮する必要がある。

試行回数を少なくする必要がある。

同一パラメータでも評価値がばらつく。

といった主に3つの課題が存在する。

は車両開発においてはごく一般的なトレードオフ問題である。は、例えば燃費などの評価を行うためにはシミュレーションと異なり走

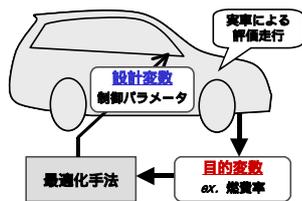


Fig.1 実車ベース最適化システム構成

An application of multi-objective optimization to parameter setting of controller with real-car
[†]Syunsuke Tezuka, Katsuyuki Kise, Fuji Heavy Industries Ltd.

行モード長分の実時間が必要なためである。は実車両では完全な再現性は確保できず、各種のノイズが混入するためである。

3. 実車多目的最適化手法

3.1 多目的遺伝的アルゴリズム

前述の課題に対して、広範な分野の問題に対して良好な結果が報告されている、Zitzler らの提案した多目的遺伝的アルゴリズム SPEA2⁽³⁾を用いた。MOGA の多点探索の特徴を活かし、最適化後のパレート解集合の中から、開発者による選択を行える点も考慮した。なお各世代の生成子個体数は 1 とした。これは親選択の対象となるアーカイブに常に最新の子個体を反映させるためであり、予備実験での効果を基に導入した。

3.2 シェアリング

前述の試行回数制限に対しては、GA の個体数を 10 とごく少なくすることで対応した。さらに、少ない個体数で多様性と解空間で適切に分布した解集合を得るために、シェアリング評価を導入した。適合度に加え解の密集度をニッチカウントとして評価し、解が不均一に分布する事を回避している。なおニッチカウントは目的変数と設計変数の両平面で定義できるが、最適化後のパラメータに多様性があることが開発者の選択の観点から望ましいため、設計変数平面での評価とした。ニッチサイズは設計変数の領域の 30% に設定した。

3.3 パレート子個体再評価

前述の評価値の再現性問題の解決には、個体を複数回評価することで対応した。しかし全ての個体の複数回評価は、の試行回数制限の観点から好ましくない。そこで生成した子個体がパレート解と判定されたときのみ、同じパラメータで再度評価走行を行い、その平均評価値から再度適合度を算出することとした (Fig.2)。

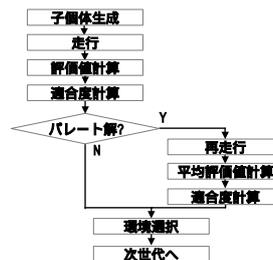


Fig.2 再評価フロー

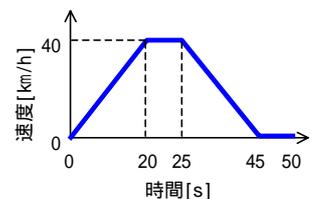


Fig.3 速度パターン

これは、多目的最適化において最終的にはパレート解集合が重要であり、この解集合中にノイズその他の要因によって不当に高い評価値を得た個体が混入する事を避けるためである。

予備実験から半数の個体が再評価後に劣解へと判定が覆っており、このロジックが不当なパレート解の排除に効果がある事を確認した。

4. 最適化条件

4.1 自動運転システム

最適化対象となる車両はシャシダイナモメータ(CDM)のローラ上に設置した。アクセルは電気信号により、ブレーキについては電動スリダにより機械的に、それぞれ自動運転が可能なよう開発した付加装置を車両に取り付けた。

4.2 目的変数

実車ベース最適化の適用例として、特定の速度パターン走行時の燃費率(km/L)と、そのパターンへの追従精度として速度誤差(km/h)のRMS(Root Mean Square)をそれぞれ目的変数に選定した。燃費率と速度誤差の間には一般的にトレードオフ関係が想定でき、多目的最適化による問題解決が望まれる典型例である。

速度パターンは走行時間 50[s]で発進・停止を行う 40[km/h]台形パターンである (Fig.3)。

4.3 設計変数

上記の自動運転システムにおけるアクセルおよびブレーキ操作量ゲインを設計変数とした。車両制御システムのパラメータを直接変更しているのではないが、自動運転の速度制御則は固定されているため、ゲインの変更は擬似的に車両特性を変化させることに相当する(Fig.4)。

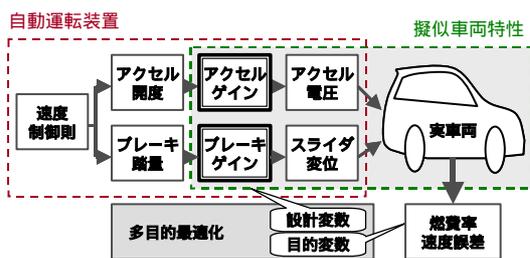


Fig.4 実車多目的最適化システム構成

5. 実験

5.1 実験条件

初期個体 10 のうち 9 個体を設計変数の値域に格子状に、残り 1 個体をランダム値として配置し、SPEA2 による多目的遺伝的アルゴリズムの進化演算を行った。車両は充分暖機後の状態から初め、終了条件の 90 分経過後まで連続して自動運転による目標変数の評価値を取得した。

5.2 実験結果

Fig.5 に実験結果のうち目的変数平面での解の

進化結果を示す。90 分間で世代数は 50 であった。図より燃費率と速度誤差の間にトレードオフ関係があること、ならびに最適化の結果、初期個体と比較して良好なパラメータセット獲得に成功していることが分かる。例として速度誤差 RMS が約 0.55[km/h]のレベルの個体同士を比較すると、初期の燃費率 8.1[km/L]が 10.5[km/L]と、およそ 30%向上している。

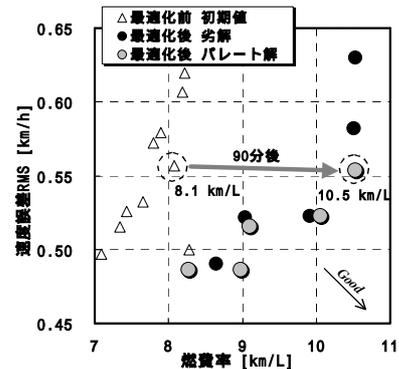


Fig.5 最適化実験結果(目的変数平面)

6. まとめ

自動車の制御開発におけるパラメータ調整の作業コストの低減を目的として、自動運転システムを用いた実車両ベースの多目的最適化を実施した。実車を対象とするため、オフラインシミュレーションによる最適化手法に幾つかの改良を施した。実験の結果、90 分間の自動運転中に燃費率でおよそ 30%の向上を実現する制御パラメータの獲得に成功した。

本手法は他の走行パターン(10-15 モード等)でも実施できる。さらにエンジン、トランスミッション、モーターなどの様々なパワーユニット制御器のパラメータ調整に適用可能である。

筆者らはこのような実車ベースによる最適化によって開発者の負担を軽減し、より高品質な性能の追及を可能とする開発環境の実現を目指している。換言すれば、品質の良し悪しの物差しを決めるのはあくまでも人間であり、情報処理技術の発展によってその具現化を支援していくことが重要であると考える。

参考文献

- (1) 例えば、M.Koishi, “CAE Technology for Tire Development”, Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.60, No.6, p.55-60 (2006)
- (2) K.Senmyo, et al., “Development of Vehicle Automatic Tuning System using Automatic Learning Method”, 2006 JSAE annual congress proceedings, 20065071 (2006)
- (3) E.Zitzler, et al., “SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm”, Technical Report 103, Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich (2001)