

F-001

学習アルゴリズムの車両チューニングシステムへの応用

Application of Learning Algorithm to Vehicle Automatic Tuning System

泉名 克郎†
Katsuo Senmyo

笠置 誠佑†
Seisuke Kasaoki

1. はじめに

近年、開発のスピードアップの要求に対して CAE の効用が目覚しく、制御系の最適化もコンピュータシミュレーションによって行われるようになってきた。しかし、加速感などのドライバーの感性に訴える性能のチューニングは、シミュレーションでは車両挙動を再現する精度が不十分であるため、開発者が実際に車両に乗りながら行うことが多い。そしてこの性能チューニングは、相反する要求性能を満たすために関連する多くの制御定数を調整する必要がある、専門的な知識や経験が必要とされている。このため、車両チューニングを効率的に実施することは車両開発における課題のひとつとなっている。

今回、加減速時の車両振動を低減するためのエンジン制御⁽¹⁾のなかで、とくに過渡トルク制御についての自動チューニングシステムを開発した。このシステムは、アクセル操作/加速度波形評価の自動化システム、学習アルゴリズムとの組み合わせによって構成される。そして、人間が試行錯誤することで制御定数を探索するのと同様のプロセスをコンピュータが自動的にを行い、かつ、極めて短時間でチューニングを実現できたので報告する。

2. 学習アルゴリズム

(1) アルゴリズムの検討

今回の制御対象をチューニングするために求められる学習アルゴリズムの要件を列挙する。

- 特定の条件下にて調整する制御定数は 3~5 個。
- 評価は車両の加速度波形で行なう。
- 目標レベルを満足する加速度波形となるよう調整。
(厳密解でなくとも準最適解で可)
- 1 回のチューニングにかかる時間は最大 30 分が目標。

上記の要件から、遺伝的アルゴリズム (GA) による組み合わせ最適化が有効であると考えられる。しかし、GA で良好な解を得るためには多数の個体と、多くの世代交代による進化が必要であり、総評価回数が多くなってしまう。

一方、実車両を使った評価では、制御条件を整えるために、車速やエンジン回転数が規定回転になるまでの待ち時間が必要であり、一回の試行に短くとも十秒程度必要となる。

この 2 点より、車両チューニングに GA を適用した場合、多くの時間が必要となり上記 d を満たすことができない。

そこで我々は、GA の概念を用いながら、個体の初期配置および交叉を簡略化し、探索空間を狭めていくことで解を探索し、評価回数を低減する手法を考案した。

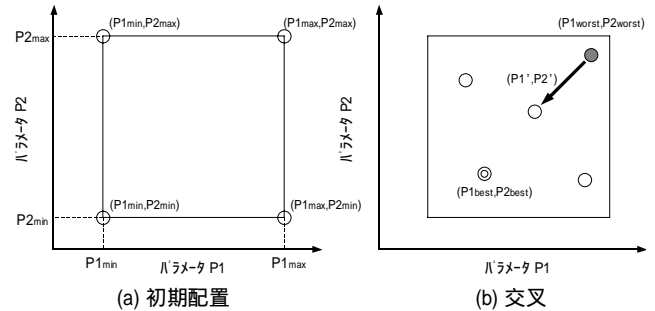


図 1. 初期個体配置・交叉イメージ

(2) 考案アルゴリズム

GA では初期個体はランダムな遺伝子をもつ個体を生成するが、本アルゴリズムでは、 n 個の制御定数を探索する場合、 n 次元の探索空間を各頂点で囲むように初期個体を配置した。すなわち、各制御定数の上限および下限値を持った 2^n 個の個体を初期個体として生成する。(図 1.a)

そして交叉では、親となる個体は最良評価を持つ個体と最悪評価をもつ個体とし、最悪評価の個体を一定の割合で最良評価の個体に近づけるように子個体の生成を行なう。これにより、評価値が向上する確率が高い方向へ新しい個体を発生させている。生成された子個体は、最悪評価の個体と入れかわるようにした。(図 1.b)

また、一世代での評価は、初期世代を除き、交叉によって新たに生成された個体だけとした。不変の個体の評価を行わないことで評価回数を低減するとともに、徐々に狭み込んでいく事で全個体が探索範囲内を有効に探索することができるようにした。

本アルゴリズムの評価回数の低減効果検証するため、4 次の Sphere 関数⁽²⁾を用いて、GA と本アルゴリズムの最良評価値の推移で検討を行なった。(図 2)

本アルゴリズムが 40 回程度の評価で収束するのに対し、GA は 100 回以上 (7 世代) の評価で同等の評価値となる。これにより本アルゴリズムの高速性が確認できた。

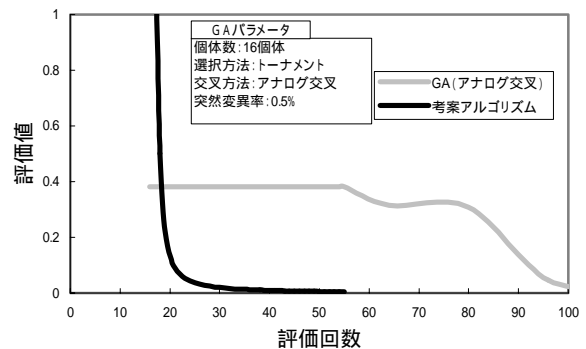


図 2. 評価値推移比較

†富士重工業 (株) スバル技術研究所
〒181-8577 東京都三鷹市大沢 3 - 9 - 6
mailto:senmyouk@tky.subaru-fhi.co.jp

3. 加速度評価

前述の学習アルゴリズムを適用するためには人間が感じている振動（加速度）の評価を数値化する必要がある。

アクセル操作時に発生する車両の加速度とドライバーの期待値とが大きく異なる場合、不快感につながる。それは加速度の大きさだけでなく、加速度が発生するまでの時間も関係している。時間が短く、加速度が大きい時はショックとして感じる。このため図 4 に示すように、アクセル操作から減速 加速に移るまでの時間(Response)、加速度の傾き(Jerk)、および衝撃および振動(Shock)を検出する。そして(1)式にてスカラー量 Q へ変換し、この Q の値を制御結果の評価値とした。

$$Q = (ReT - Response)^2 \times Wr + (JeT - Jerk)^2 \times Wj + (Shock - ShT)^2 \times Ws \quad \dots(1)$$

但し

ReT: Response 目標値
 JeT: Jerk 目標値
 ShT: Shock 目標値
 Wr, Wj, Ws: 重み係数

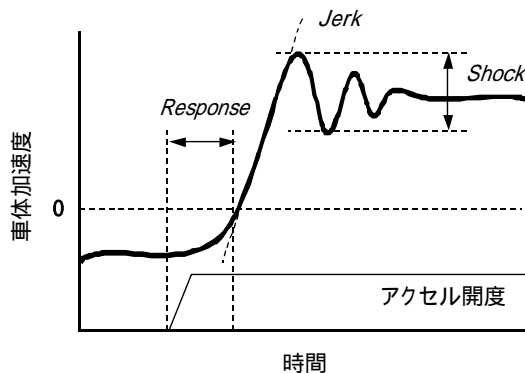


図 3. 加速度波形検出項目

4. 実験

前述の学習アルゴリズムを組み込んだ、自動チューニングシステムを用いて、車両実験を行った。

図 4 に過渡制御を行わない場合のアクセル OFF ON 時の車両加速度波形を示す。アクセル ON 直後のショックに加え、その後に続くユサユサ振動の収束性も悪く、体感的にも非常に不快に感じる波形である。

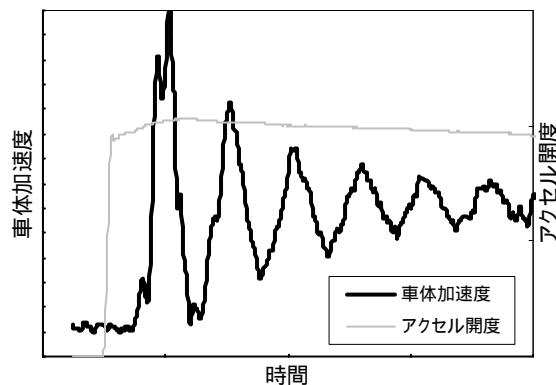


図 4. 車体加速度波形 (チューニング前)

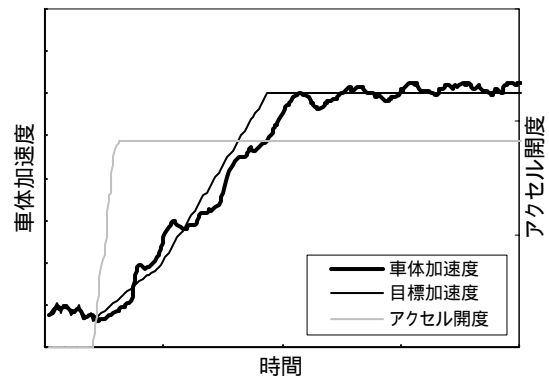


図 5. 車体加速度波形 (自動チューニング結果)

図 5 に過渡制御の自動チューニングを行なった結果を示す。振動が小さく、目標波形に非常に近い結果を得られており、本システムが良好なチューニング能力があることが確認できる。

また、調整した制御定数は 7 個で、2 回に分けてチューニングを行った。そして、図 5 の結果を得るまでに行なった評価試行の回数は合計約 50 回、時間にして約 20 分であった。これは熟練開発者が適合を行なった場合の半分以下の時間であり、大幅な時間短縮を確認できた。

5. まとめ

GA と比較して少ない評価回数で解探索を行なえる学習アルゴリズムを考案した。

この学習アルゴリズムを、アクセルの自動操作、および加速度波形の自動評価を行なうシステムと組み合わせ、車両の自動チューニングシステムを構築した。そして、制御条件 1 個のチューニングにおいて、約 20 分で目標とする加速度波形へのチューニングを実現した。

また、このシステムを用いて全ての制御条件のチューニングを行なうのに要した時間を、本システムと人間がチューニング場合で比較したところ、人間の場合に対して最大 70% 低減の効果が確認できた。

参考文献

- (1) 河辺啓行、他：加減速時の車両前後振動の低減、スバル技報、No30、p.89-94
- (2) K.A.DeJong(1975).Analysis of the Behaviour of of a Class of Genetic Adaptive Systems, Ph.D. thesis, Univ.Michigan.
- (3) メラニー・ミッチェル、伊庭齊志訳：遺伝的アルゴリズムの方法、1997 年（東京電機大学出版局）