

分散 GA の汎用最適設計支援ソフトウェア iSIGHT™ への実装

-2001 年度共同研究成果報告-¹

Implementation of the Distributed Genetic Algorithms to iSIGHT™

吉田 純一, 福永 隆宏, 片浦 哲平

Jun-ichi YOSHIDA, Takahiro FUKUNAGA, and Teppei KATAURA

Abstract: In this report, we introduce our joint research, about implementation of the distributed genetic algorithm (DGA) to iSIGHT, with Engineous Japan Inc. iSIGHT is a software framework that automates the tedious, repetitious job of running your design analysis programs. This project aimed at developing the generalized DGA system and implementing it to iSIGHT. To demonstrate the performance of DGA, we applied DGA and iSIGHT to some test functions, and DGA shows better performance. We also applied DGA to the injection rate optimization problem it shows good performance. Therefore Engineous choose our DGA as an optimization technique for next version of iSIGHT.

1 はじめに

本発表では, エンジニアス・ジャパン株式会社²との共同研究プロジェクトである「分散 GA の汎用最適設計支援ソフトウェア iSIGHT™ (以下 iSIGHT) への実装」の成果報告を行う。本研究の目的は, 知的システムデザイン研究室 (以下 ISDL) における分散 GA に関する研究成果を市販のソフトウェアに反映させ, 広く一般の人が利用できるようにすることにある。iSIGHT への組み込みを実現するために, 今年度は (1) 現在実装されている GENESYS との性能比較 (2) 実問題における DGA の性能評価 (3) 実装のためのサンプルコードの作成などを行った。これらの活動について次節以降で述べる。

2 研究背景

一般に, ある最適化問題を解くためには (1) 探索点の決定と (2) 探索点の評価が必要になる。GA で TSP を解くことを考えると, 前者は GA の遺伝的操作であり, 後者は経路長の計算である。ISDL における研究では, 両者を一つのプログラム内に実装されていることが多いが, 実際にはその役割は異なる。このとき探索点の決定を行う部分をオプティマイザ (最適化部), 評価値の計算を行う部分をソルバ (解析部) と呼ぶことができる。

エンジニアス社が提供する iSIGHT¹⁾ には, オプティマイザとして多くの最適化アルゴリズムが実装されており, iSIGHT を利用することで任意の最適化問題 (ソルバ) に対して, 複数の最適化手法を組み合わせ適用す

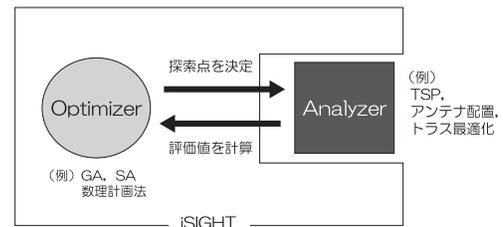


Fig. 1 iSIGHT による最適化の概念図

ることができる。これにより設計者は最適解を求めるまでの設計プロセスを自動化することが可能になる。このため, iSIGHT は幅広い工業製品の設計分野で利用されている。iSIGHT に実装されている最適化手法は, 数論的手法, 探索的手法, 経験的手法に大別されるが, 探索的手法には GA や適応的 SA も含まれている。しかしながら, 現在の iSIGHT に実装されている GA は Bäck が 1992 年に公開した GENESYS であり, 最近の研究成果を反映したものであるとは言えない。

そこで, 本研究では ISDL での分散 GA に関する最新の研究成果を反映した汎用分散 GA のコードを開発し, これと置き換えることを目標としている。このためには, 分散 GA の性能が GENESYS よりも高いことを示した上で, 実問題においても分散 GA は有効な手法であることを示す必要がある。GENESYS との性能比較は 3 節で, DGA の実問題への適用については 4 節で述べる。

3 GENESYS との性能比較

現在のバージョンの iSIGHT に実装されている GENESYS²⁾ は, Grefenstete によって開発された Genesis を Bäck が拡張したものであり, 1992 年に公開さ

¹iSIGHT は Engineous Software Inc. の登録商標である。²エンジニアス・ジャパン株式会社: <http://www.engineous.co.jp>

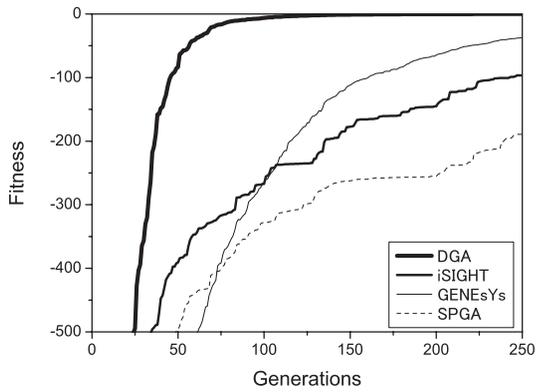


Fig. 2 適合度の推移 (Schwefel)

れた。GENEsYsのソースコードは現在も配布されており、自由に使用することができる。このGENEsYsと分散GAの性能を比較するために7つの代表的なテスト関数 (Sphere, Weighted Sphere, Step Function, Ackley, Rastrigin, Griewank, Schwefel) において数値実験を行った。実験の結果、分散GAとGENEsYsには性能に有意な差があることが明らかになった。詳細は研究報告³⁾を参照されたい。

研究報告³⁾に示した結果は、配布されているオリジナルのGENEsYsとの性能比較であるが、このほかにiSIGHTに実装されているGENEsYsとも性能比較を行った。Schwefel関数における適合度の推移をFig. 2に示す。数値実験の結果、iSIGHTとGENEsYsでは解探索の傾向が異なることが明らかになった。オリジナルのGENEsYsとiSIGHTを比較すると、Schwefel関数以外ではiSIGHTの方が良好な性能を示したが、分散GAはさらに良好な性能を示した。iSIGHTのGENEsYsとの性能比較は研究報告⁴⁾を参照されたい。これらの結果から分散GAはGENEsYsと比較して高い解探索能力を持つと考えられる。

4 DGAの実問題への適用⁵⁾

汎用ソフトウェアへの実装を考慮するためには、実問題における性能評価は重要である。ここでは、分散GAの性能を評価するためにディーゼルエンジンの噴射率最適化問題を対象とした。

4.1 対象問題

ディーゼル機関はその耐久性、燃費の良さのために幅広く利用されているが、排ガス対策のためのさらなる研究開発が望まれている。特に、燃焼改善による対策は主として噴射系、噴霧の特性をどのようにするのが大きな課題となっている。しかしながら、ディーゼル機関に影響を及ぼす多くのパラメータを変化させ機関性能・排気性能に及ぼす影響を実験的に求めるには膨大なコス

トがかかる。このため、計算機上のシミュレーションによるパラメータの最適化はきわめて有用である。⁶⁾

本研究で扱うのは現象論的モデルの一つであるディーゼルエンジンシミュレータのHIDECS⁷⁾である。これは、噴射率 (Injection Rate)、大気状態 (Atmosphere Condition) などをもとに、ディーゼル燃焼をシミュレートし、燃費や炭素化合物の生成量を求めるものだが、本研究では、このうち噴射率³⁾についての最適化を行う。噴射期間を18°に固定し、これを0.5°ごとに36分割し、単位時間ごとの燃料噴射が燃費 (Specific Fuel Consumption) に及ぼす影響を検討した。

4.2 数値実験

HIDECSに分散GAを適用し、噴射率の最適化を行う。ここでは前述のHIDECSの出力のうち、燃料消費量 (Specific Fuel Consumption)、窒素酸化物 (NO_x)、および排気ガス (SMOKE) の3つに注目し、

1. 燃料消費量 (S.F.C) の最小化
2. 窒素酸化物 (NO_x) 排出量の最小化

を行った。このとき、噴射する燃料の総量は一定とし、目的関数値以外の出力は制約条件とする。実験に用いた分散GAのパラメータは、サブ母集団数10、1島あたりの個体数10 (計100個体)、交叉率1.0、突然変異率0.01、移住間隔5世代、移住率0.5とした。Fig. 3に100世代における最良解の形状を示す。結果はいずれも1試行の結果である。

Fig. 3より、最適化の対象を変えることで得られる解の形状が異なることが分かる。特にFig. 3-bに示した形状は、序盤および終盤に集中的に燃料を噴射する「多段噴射」とよばれる形状である。この形状はNO_xの排出量を減らすことが経験的に知られており、分散GAによる最適化が有効に機能していると考えられる。また、ここでは紙面の関係から割愛したが、単一母集団GAとの比較も行った。S.F.C, NO_xのいずれを目的関数にした場合にも分散GAは単一母集団GAよりも高速に良好な解を得ることができた。

5 サンプルコードの開発

前節までの結果から、分散GAはGENEsYsよりも高い解探索能力を持ち、実問題においても良好な性能を示す可能性が高いことが示された。これにより、次期バージョンのiSIGHTにはGENEsYsに替わって、ISDLの分散GAが実装されることとなった。

製品への組み込みはエンジニアス社が行うが、その際に参考にするサンプルコードおよびその仕様書を作成し

³⁾噴射率とは、ディーゼルエンジンの燃焼室の中にどのような時間的割合で燃料を噴射するかを表している。

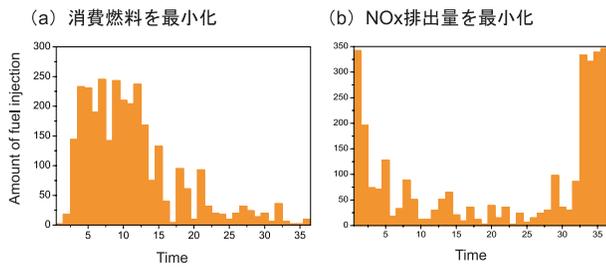


Fig. 3 分散 GA によって得られた噴射率の形状

た．一般的な GA には多くのパラメータが存在し，その値によって解探索能力が変化することが知られている．しかしながら，GA の専門家ではない iSIGHT のユーザが利用することを考慮すると，設定すべきパラメータはなるべく少ないことが望ましい．そこで，作成したサンプルコードではパラメータの初期値を以下のように設定し，これを推奨値とした．

推奨パラメータ：

母集団サイズ (100)

交叉率 (1.0)

交叉法 (2 点交叉)

突然変異率 (1/染色体長)

選択手法 (トーナメント選択, トーナメントサイズ=4)

エリート個体数 (5)

島数 (各島の個体数を 10 とするため, 島数 =

母集団サイズ/10)

移住率 (0.5)

移住間隔 (5)

これらの値は複数のテスト関数における大規模な数値実験の結果から，任意の対象問題に対して良好な性能を示すと推定された値である⁸⁾．上記の推奨値に従えばユーザが設定すべきパラメータは終了条件である最大世代数のみとなる．

なお，本研究で作成したサンプルコードおよび仕様書は分散 GA グループの WEB サイト⁴⁾にて公開している．

6 今後の予定

6.1 iSIGHT

次期バージョンの iSIGHT は来年前半にもリリースされる．順調に進めば次期バージョンには前述のサンプルコードに基いた分散 GA が組み込まれる予定である．これと平行して，Techgen と呼ばれる iSIGHT のツールキットを利用したプログラムの開発を行う．Techgen を

用いることで，iSIGHT に任意の最適化手法を組み込むことが可能になる．iSIGHT は任意のソルバに対するインターフェイスとしての役割も持つことから，さまざまな実問題において新しい手法の性能評価が可能となる．また，分散 GA に続き多目的 GA の iSIGHT への実装についても検討する．

6.2 ディーゼルエンジンの噴射率最適化

ディーゼルエンジンの噴射率最適化に関しては，エンジニアに加え，HIDECS モデルの作者である近畿大学の廣安博之先生やエンジンのシミュレータを開発している AVL 社との共同研究に発展する見込みである．本報告では，単目的最適化について述べたが，今後は多目的 GA を適用し複数のパラメータについて同時に最適化を行う．そこで得られた結果を，専門家である廣安 (博) 先生や AVL と検討する．

7 おわりに

本報告では，エンジニア・ジャパン株式会社との共同研究である「分散 GA の iSIGHT への実装」の成果についてまとめた．既存の手法との比較や，実問題での性能評価の結果，次期バージョンの iSIGHT には我々の分散 GA が実装されることになった．また，ディーゼルエンジンの噴射率最適化についても，来年度はより大規模な共同研究に発展する予定である．なお，本文中で参照した共同研究報告書は著者のサイト⁵⁾に公開している．

参考文献

- 1) エンジニア・ジャパン株式会社.
最適設計支援ソフトウェア iSIGHT.
<http://www.engineous.co.jp/isight/isight1.html>.
- 2) Thomas Bäck. A User's Guide to GENESyS 1.0.
- 3) 吉田純一. GENESyS と分散遺伝的アルゴリズムの性能比較. 共同研究報告書 No.3, 知的システムデザイン研究室, 2001.
- 4) 吉田純一, 福永隆宏, 片浦哲平. iSIGHT, GENESyS, および分散遺伝的アルゴリズムの性能比較. 共同研究報告書 No.4-A, 知的システムデザイン研究室, 2001.
- 5) 吉田純一. 分散遺伝的アルゴリズムによるディーゼルエンジンの燃料噴射スケジュールの最適化. 共同研究報告書 No.5, 知的システムデザイン研究室, 2001.
- 6) 廣安博之. ディーゼル燃焼の現象論モデル. 日本機学会 2001 年熱工学講演会, 2001.
- 7) Hiroyuki Hiroyasu and T. Kadota. *SAE(The Engineering Society For Advancing Mobility in Land Sea Air and Space) Paper No.760129*, 1976.
- 8) 廣安知之, 三木光範, 上浦二郎. 分散遺伝的アルゴリズムにおけるパラメータの検討. 情報処理学会シンポジウムシリーズ (MPS シンポジウム論文集), Vol. 2001, No. 12, pp. 147-154, 2001.

⁴⁾<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/pdga/>

⁵⁾<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/person/junichi/>