

# 近似モデルを利用する進化計算における 実評価・近似評価の順位相関の利用に関する基礎検討

桑畑 雄大<sup>1,a)</sup> 松岡 淳一<sup>1,b)</sup> 牛之濱 宅哉<sup>1,c)</sup> 川崎 洋<sup>1,d)</sup> 小野 智司<sup>1,e)</sup>

概要：近年，進化計算に近似モデルを組み合わせる手法（Surrogate Assisted Evolutionary Computation: SAEC）の研究が注目されている。SAEC は目的関数を近似した近似関数で評価を行うことで，実評価回数を削減し，計算コストを削減する。従来の SAEC は，近似モデルの作成方法を改善する方式が多いのに対し，本研究では，探索中の個体における実評価と近似評価の順位相関を利用し，近似モデルの作成タイミングを適応的に決定する方式を提案する。

## 1. はじめに

進化計算は対象問題の領域知識を用いなくとも，目的関数および制約条件を明確化するのみで実問題に応用できることから，最適化問題を解く際に有効なツールとして広く用いられている。しかし，流体シミュレーションを伴う空力形状の設計 [1] のように，解候補の評価に莫大な時間を要する問題（高コスト問題）においては，多くの計算時間を要する。適応度の近似モデルを構築することで高コスト問題を解く進化計算（Surrogate Assisted Evolutionary Computation: SAEC）が広く研究されている。SAEC は，目的関数を近似した関数によって解候補の評価を行うことで，実評価回数を削減し，準最適解を発見するまでの計算時間を削減する。

一方で，1 回の評価に数秒から数分程度の時間を要する問題（中コスト問題）を対象とする SAEC の研究例は少ない。進化計算を実問題に応用したシステムの利用者からは，最適化に要する処理時間を短縮したいとの要望があり，中コスト問題で処理時間の貢献に寄与する SAEC の実現が求められている。

本研究では，中コスト問題において有効的にはたらく SAEC の提案を目的として，近似評価する世代（近似評価フェーズ）と実評価する世代（実評価フェーズ）を適応的に切り替える適応型 SAEC を提案する。

## 2. SAEC

SAEC において重要となるのは，アルゴリズムの中でどのタイミングで実評価や近似評価を行い，近似モデルを構築するかである（進化制御アプローチ）。進化制御アプローチは，世代ベース [2] および個体ベース [3] に大別されるほか，様々な方式が提案されている。世代ベースは，一定世代ごとに実評価を行うことで，実評価フェーズと，近似評価フェーズを切り分ける方式である。個体ベースは各世代ごとに全個体に対して近似評価を行う。その中から，近似評価値の良好な上位の（あるいはランダムに選択された）個体に対して実評価を行う方式である。

世代ベースは，実評価を行っていない世代は，近似評価値をもとに探索を行う。その際，構築された近似モデルが偽の最適解を生成することで，近似評価中に局所解に陥る問題点がある。この問題を回避するためには，近似評価や実評価を行う世代数を適切に制御する必要がある。

## 3. 適応型 SAEC

### 3.1 概要

本研究では探索中の個体の順位を利用し [4]，近似評価フェーズと実評価フェーズを適応的に切り替える方式を提案する。本手法の利点として，2つの点が挙げられる。1つ目は，実評価値と近似評価値の順位相関  $\rho_{AR}$  を用いることで，適応的に評価方式を切り替えられる点である。この相関を用いることで，近似評価値の妥当性を判断することができる。2つ目は，近似モデルの構築回数を削減できる点である。従来の世代ベースでは，一定の世代ごとに近似モデルを構築していた。それに対し，本手法では  $\rho_{AR}$  が閾値

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科情報生体システム工学専攻  
鹿児島県鹿児島市郡元 1 丁目 21-40

a) sc111021@ibe.kagoshima-u.ac.jp

b) sc111072@ibe.kagoshima-u.ac.jp

c) sc110010@ibe.kagoshima-u.ac.jp

d) kawasaki@ibe.kagoshima-u.ac.jp

e) ono@ibe.kagoshima-u.ac.jp

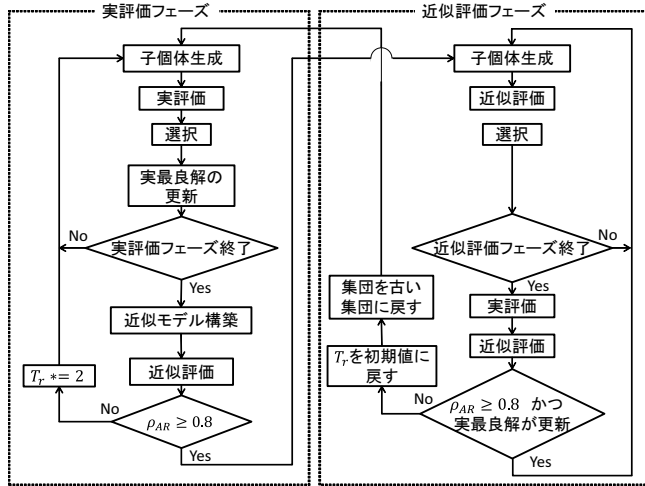


図 1 適応型 SAEC の処理手順

を下回った場合、実評価フェーズの世代数を倍にしている。これにより、近似モデルの構築コスト削減が期待される。

### 3.2 順位相関の求め方

実評価値による順位と、近似評価値による順位から算出された順位相関係数  $\rho_{AR}$  を以下の手順で算出する。まず、集団中の各個体に対し、実評価値の良い順に順位を付け、各個体  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, NP$ ) に対してランク  $R_i^R$  ( $\in \{1, 2, \dots, NP\}$ ) を付与する。近似評価値においても同様にランク  $R_i^A$  を付与する。 $R_i^R$ ,  $R_i^A$  の両順位を算出した後、式 (1) によりスピアマンの順位相関係数  $\rho$  を算出する。

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^{NP} (R_j^R - R_j^A)^2}{(NP^3 - NP)} \quad (1)$$

### 3.3 アルゴリズム

提案手法のアルゴリズムを図 1 に示す。実評価フェーズでは、実評価を行う世代数を  $T_r$  とし、 $T_r$  世代が経過するまで実評価による探索を行う。 $T_r$  世代目になると、近似モデルを構築し、集団に対して近似評価を行う。その後、実評価値と近似評価値をもとに  $\rho_{AR}$  を算出する。 $\rho_{AR}$  が 0.8 以上であれば、そのときの集団を保存し、近似評価フェーズに移行する。そうでなければ  $T_r$  を 2 倍に増やし、実評価フェーズを続行する。

近似評価フェーズでは、 $T_a$  世代近似評価を行う。 $T_a$  世代目になると、集団に対して実評価と近似評価を行う。その後、実評価フェーズと同様に  $\rho_{AR}$  を算出する。このとき、 $\rho_{AR}$  が 0.8 以上かつ実最良解が  $T_a$  世代の間に更新されていれば、近似評価フェーズを続行する。そうでなければ、 $T_r$  を初期値にして、集団を実評価フェーズで保存していた集団に戻し、実評価フェーズに移行する。

## 4. 評価実験

提案手法の性能を評価するために、ベンチマーク関数に

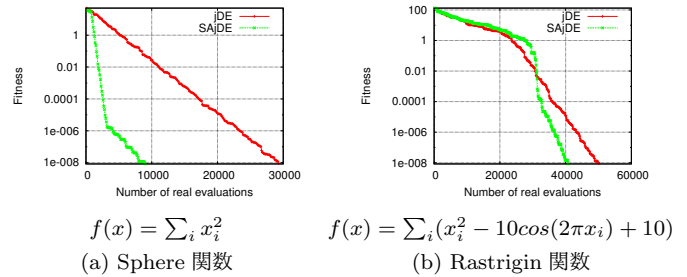


図 2 実験結果

よる評価実験を行った。本実験では、Sphere 関数および Rastrigin 関数の 2 種類のベンチマーク関数を使用した。実験設定として、試行回数を 3 回、個体数を 100、次元数を 12 次元、終了条件として、実評価値が  $1.0 \times 10^{-8}$  を下回った場合とした。また、実評価世代数  $T_r$  の初期値を 8、近似評価世代数  $T_a$  を 10、 $\rho_{AR}$  の閾値を 0.8 とした。

実験結果を図 2 に示す。Sphere 関数における実験結果に着目すると、実評価回数を約 70% 削減できたことが分かる。また、Rastrigin 関数における実験結果に着目すると、実評価回数 20000 回付近まで、SAjDE の効果は表れていないが、それ以降、SAjDE の探索スピードが向上していることが分かる。この原因として、探索領域の形状が影響していることが考えられる。集団の探索領域が多峰性の景観である場合、近似評価による探索は停滞するが、探索領域が狭まり、単峰性の景観になった場合、近似評価による探索が効果を表すのだと思われる。

## 5. おわりに

本研究では、順位相関を用いて、実評価フェーズと近似評価フェーズを適応的に切り替える適応型 SAEC を提案した。提案手法では、探索中の各個体の実評価値による順位と、近似評価値による順位の相関係数を算出した。両順位の相関が閾値以上であれば近似評価フェーズに移行し、そうでなければ実評価フェーズに移行する。評価実験として、ベンチマーク関数による性能比較を行った結果、Sphere 関数において、実評価回数を約 70% 削減できたことを確認した。今後は、近似モデルを局所的に構築する手法を検討するとともに、実問題での有効性を検証する。

### 参考文献

- [1] J Laurenceau and P Sagaut. Building efficient response surfaces of aerodynamic functions with kriging and cokriging. *AIAA journal*, Vol. 46, No. 2, pp. 498–507, 2008.
- [2] Yaochu Jin, Markus Olhofer, and Bernhard Sendhoff. On evolutionary optimization with approximate fitness functions. In *GECCO*, pp. 786–793, 2000.
- [3] Larry Bull. On model-based evolutionary computation. *Soft Computing*, Vol. 3, No. 2, pp. 76–82, 1999.
- [4] 串田淳一, 原章, 高濱徹行. 探索点の順位相関を利用した関数景観推定. 第 9 回進化計算シンポジウム予稿集, Vol. 332, pp. 155–163, 2015.