

分散確率遺伝的アルゴリズムを用いたトラス構造物最適化

下坂久司

1 はじめに

本研究では構造物最適化問題に遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) を適用する. 構造物最適化問題は一般に大規模で複雑な制約付き最適化問題である. そのため, 構造物最適化問題を効率的に解くためには, 探索性能の優れた GA と効率的に制約条件を扱う機構が必要となる. 本研究では, 構造物最適化問題を効率的に解くために, 確率モデル遺伝的アルゴリズム (Probabilistic Model-Building Genetic Algorithm : PMBGA) の 1 つである分散確率モデル遺伝的アルゴリズム (Distributed PMBGA:DPMBGA) に, 制約条件を外れた個体を最も近い実行可能領域に引き戻す手法を適用する. またペナルティ法との比較によって, 引き戻し法の有効性を検討する.

2 制約条件を扱うメカニズム

2.1 ペナルティ法

ペナルティ法は満たされない制約条件を罰金化した項を目的関数と組み合わせた関数を最適化するという方法である. 例えば, 式 (1) に示す制約条件付きの最適化問題があるとする.

$$\begin{aligned} \min \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{such that} \quad & g_j(\mathbf{x}) \geq 0 \quad j = 1..m \end{aligned} \quad (1)$$

この時, ペナルティ関数法では式 (2) に示す関数を定義し, 最適化を行う. ただし, $\rho > 0$ である. ρ は, ペナルティパラメータと呼ばれる.

$$\min F_\rho(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}) + \rho(\sum_{i=1}^m \max\{0, -g_j(\mathbf{x})\}) \quad (2)$$

2.2 引き戻し法

引き戻し法は, GA の解探索中にある個体が制約条件を外れた場合, その個体を最も近い実行可能領域に引き戻すという操作である. 例えば, 式 (1) に示す最適化問題があるとする. その時, ある個体 ($\mathbf{x}_{out}$) が 1 つ以上の制約条件を満たさない場合, 式 (3) を解くことを考える. ただし, $\mathbf{d} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_{out}$ である.

$$\begin{aligned} \min \quad & F_{pb}(\mathbf{d}) = \sqrt{\mathbf{d} * \mathbf{d}} \\ \text{such that} \quad & \nabla g_j(\mathbf{x}_{out})\mathbf{d} + g_j(\mathbf{x}_{out}) \geq 0 \\ & , \quad j = 1, \dots, h \end{aligned} \quad (3)$$

Table 1 Number of Times that the Optimum is Found(2-Stage Truss)

Number of Island	Penalty Function	Pulling Back
1	0	25
2	6	25
4	14	25
8	18	25
16	22	25
32	25	25

Table 2 Number of Times that the Optimum is Found(3-Stage Truss)

Number of islands	Penalty Function	Pulling Back
1	0	24
2	1	19
4	4	24
8	4	19
16	5	5
32	12	0

目的関数は, 制約を外れた個体 ($\mathbf{x}_{out}$) と実行可能領域までの距離の最小化である. この式 (3) を解くことにより求められた $\mathbf{d}$ から制約条件を満たす新しい点 $\mathbf{x}$ が得られる.

3 数値実験

6 節点 10 部材のトラス構造物 (2-Stage Truss) および 8 節点 15 部材のトラス構造物 (3-Stage Truss) を対象とし, DPMBGA にペナルティ法および引き戻し法を適用して, 両手法の性能を比較する. 最適解発見回数を Table. 1 および 2 に示す. 両手法の最適解の発見回数より, ペナルティ法は DPMBGA の島数を増やすことで安定した探索を行えることがわかる. 一方で引き戻し法は少ない島数でも安定した探索を行うことができることがわかる. また問題が複雑になった場合, ペナルティ法よりも引き戻し法の方が安定した探索を行える可能性があることも示された.

しかしながら, 引き戻し法は島数を増やすほど, 最適解を発見するのに多くの評価計算回数を必要とすることがわかっている. これらの結果から, 比較的簡単な問題においては, 島数を増やしたペナルティ法が有効であり, 複雑な問題においては, 引き戻し法が有効であることがわかった.