

遺伝的アルゴリズムにおけるヒューリスティック操作の選択的適用

Selective Application of Heuristic Operation in GA

立命館大学, *パナホーム株式会社

○ 石動裕人, 陳威, 中川大輔*, 佐田貴浩*, 吉富信太, 瀬尾昌孝, 西川郁子

Y. Ishido, W. Chen, D. Nakagawa*, T. Sada*, S. Yoshitomi, M. Seo and I. Nishikawa
Ritsumeikan University, * PanaHome Corporation

Abstract Structural design of a steel industrialized housing is considered as an optimization problem to obtain the most efficient placement of the components under the multiple constraints for structural performance. Genetic algorithm is applied to obtain the design solutions, though feasible solutions are easily broken owing to the complicated combinatorial structure of the problem with multiple mechanical constraints. Therefore we applied an operation to solve the fatal violation for the solution. As a result, we realized improvement in feasibility.

1 背景と目的

最適化事例として建築物の部材配置を考える。建築物の構造設計では、耐震強度を必ず満たした上で、無駄のない効率的な部材配置が求められる。一般に部材量を増やすことで強度は確保されるが、それに応じてコストは増加する。また、建物全体に課される多数の力学的強度は、部材量のみでなく、各部材の種類や位置に大きく依存するため、部材相互の位置関係を考慮して全部材を配置する必要がある。吉富ら [1] はこの設計問題を、耐震強度確保を絶対制約とし、より少ない部材コストの設計解を求める最適化問題として定式化した。配置の組合せ的な性質から、遺伝的アルゴリズム (GA) を適用することで、ある程度満足できる設計解を得ている。ただし、ここでの絶対制約は、部材の組み合わせで決まる多数の力学条件であり、遺伝的操作により解の実行可能性が容易に失われ、効率的な探索が難しい。

そこで、同時多点探索における解集団の実行可能性の保持を目的として、解ごとの制約充足性を考慮した遺伝的操作を考える。ここでは多数の制約条件が、水平および鉛直の部材配置に帰着される条件群に二分されることに着目する。同時に解も、水平および鉛直の部材群に対応する二つの部分解に分解できる。そこで、解の制約違反が、いずれ（あるいは両方）の部分解に起因するかを判別し、それに応じて遺伝的操作を切り替えることを考える。

2 住宅設計における部材配置

2.1 対象とする課題

部材配置の対象は、図1に示すような一般住宅であり、建物外形が与えられた上で、規格化された複数種の部材

を配置して強度を確保する。鉛直面に配置する部材は柱と耐力壁、水平面に配置する部材は大梁、小梁と水平ブレースと呼ばれる。



図1: 2階建住宅の立体骨組みの例 ([1] より引用)

2.2 最適化問題

吉富ら [1] はこれを下式で表される最適化問題とした:

$$\text{Find } x \in x^{\text{list}}, \quad (1)$$

$$\text{to minimize } f(x) = \sum_{i=1}^n A_i L_i, \quad (2)$$

$$\text{subject to } g_j(x) \leq 0 \quad (j = 1, \dots, N). \quad (3)$$

ここで、式 (1) の決定変数 x は、配置対象とする部材（ここでは、耐力壁、大梁と小梁）の種類や配置を表し、 x^{list} は物理的に配置可能な解領域である（強度制約に対応する実行可能領域ではない）。また、目的関数 (2) は、第 i 部材の断面積 A_i と部材長 L_i の積で得られる部材量の総和で与える。部材数 n は解ごとに決まる。強度制約は、非正の制約不等式 (3) として与え、荷重条件ごとに与えられる制約数 N は数百にもものぼる。

3 制約充足に応じた選択的操作

前節で定式化した最適化問題に GA を適用すると、パラメータに依らず、探索の全過程を通じて実行可能解の割合は低いままに留まる。主な制約違反として、水平部材に起因するもの（水平構面変形違反）が見出され、それは小梁を配置した結果、水平ブレースが置けない矩形領域が生じるためであることが分かった。そこで、それを生じる小梁の突然変異操作に対して改善を検討した。考案した改善操作では、ヒューリスティックな方法で小梁を減らし水平ブレースの配置をほぼ保証する。提案法を用いた結果、上記の違反を犯している解は改良されることが確認された。同時に、上記の違反を犯していない解に用いると、逆に他の制約違反を引き起こすなど悪化する傾向が見られた。以上を踏まえて、解ごとの制約充足度を考慮した遺伝的操作を考える。

対象課題では、多数の耐震制約条件が、水平部材の配置に帰着される条件群と、鉛直部材の配置に帰着される条件群に大別されることに着目する。同時に、全部材配置に相当する解も、水平部材群に対応する部分解と鉛直部材群に対応する部分解に分解できる。そこで、解の実行可能性、あるいは逆に耐震強度から見た脆弱性が、水平あるいは鉛直のいずれの部材（あるいは両方の部材）配置に起因するかを判別し、それに応じて遺伝的操作を切り替えることを考える。しかしながら、構造計算で得られる力学強度は、全体解に対して算出でき、部分解のみでは得られない。そこで、簡易かつ近似的な判別法として、部材配置の空間パターンを入力とし、実行可能性を出力とする分類器を学習により獲得し、それを用いて選択的操作を行うことを提案する。前述の分解構造に基づき、水平および鉛直部材それぞれの分類器を学習し、その判別結果を用いて選択的に遺伝的操作、特に突然変異を行う。分類器として、ここでは Support Vector Machine を用いた。次節でその有効性を計算機実験で検討する。

4 計算機実験

標準的な 3 階建て住宅を例として数値実験を行った。GA で 50 個体 200 世代の探索を行い、エリートは 1 個体とし、残り個体のうち 70% を交叉で生成、30% を突然変異で生成する。同じ初期個体集合を用いて従来 GA と前節で示した提案 GA で探索し、初期集合を変えて 5 試行ずつ行い比較した。図 2 に、実行可能解の全世代総数と最良個体の部材量の 5 試行平均を示す。図より、提案 GA では実行可能解が増え、同時に最良個体の部材量が減少している。しかし、提案 GA でも実行可能解が 2 割

程度に留まっており、更なる検討が必要である。

図 3 に、従来 GA と提案 GA それぞれの最良解における部材配置を示す。両者の部材配置はかなり異なっていることが分かる。従来 GA による解では、2 階で小梁が多数配置されて小さな矩形領域が生じており、3 階では小梁の材軸がずれて配置されているのが見られる。それに対して、提案 GA ではそれらが解消されている。

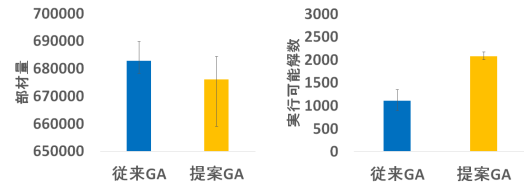


図 2: 最良解の部材量と実行可能解数の比較

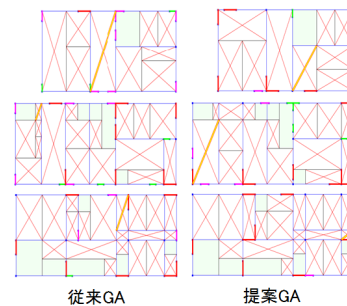


図 3: 最良解が与える部材配置 (下段から 1F, 2F, 3F)

5 まとめ

組合せ構造をもつ最適化事例として建築物の部材配置を取り上げた。水平および鉛直部材に対応する部分解に二分し、多数の力学的強度制約も、それらに対応して二つに大別できることに着目した。GA で生成される個々の解が持つ違反要因に応じて、選択的に遺伝的操作を切り替えることで、実行可能性を保持する方法を提案した。部分解の制約違反は、本来定義できず算出できないが、実行可能解の部材配置パターンを学習した分類器を用いて、簡易かつ近似的に判別することで上記を実現した。改善対象とした違反に対しては一定の成果が得られたが、探索過程でより頑健に実行可能性を保持するために、さらに検討したい。

参考文献

[1] 吉富信太, 中川大輔, 佐田貴浩: 鉄骨系工業化住宅における構造最適化に関する研究: 一遺伝的アルゴリズムに基づく実用的な構造建築部材最適配置法一, 日本建築学会構造系論文集, 80(74), pp.1347-1355(2015)

[2] 石動裕人, 山本喬太郎, 中川大輔, 佐田貴浩, 吉富信太, 瀬尾昌孝, 西川郁子: 複雑な組み合わせ構造を持つ最適化問題における可能解領域の推定, 第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2016)