

(8) 実数領域型遺伝的アルゴリズムの構造同定問題への適用

APPLICATION OF ADAPTIVE REAL RANGE GENETIC ALGORITHM TO STRUCTURAL IDENTIFICATION

古田均*・佐藤寿真**・斉藤麻紀子***・森崎美紀****

Hitoshi FURUTA, Suma SATO, Makiko SAITO and Miki MORISAKI

*工博 関西大学教授 総合情報学部総合情報学科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊山寺町 2-1-1)

**関西大学 総合情報学部総合情報学科

***関西大学院 総合情報研究科知識情報学専攻

****日本電子計算株式会社 正社員

System identification problems consist of deciding a structural model from some observation data and estimating some unknown parameters including input variables. Defect identification problem (NDE: Non-Destructive Evaluation) is an important problem, which contributes to estimate the remaining life and reliability of structures. The NDE is one of the system identification (inverse analysis) problems. However, they have some problems; one is that these methods can be widely used, but they require a lot of computation load and time to evaluate large-scale structures. Then, it is desirable to develop a method in order to identify defective parts simply and rapidly. An attempt is made in this paper to improve a method of identifying defective parts of large-scale structures using Adaptive Real Range Genetic Algorithm.

Key Words : Adaptive Real Range Genetic Algorithm, defect identification, inverse analysis

1. はじめに

これまでの維持管理を目的とした構造物の残存寿命や安全裕度などを評価する欠陥同定問題では、放射線透過試験、超音波深傷試験、磁粉深傷試験、浸透深傷試験、渦流深傷試験などの非破壊検査が、主に研究され実用化されてきた。しかし、これらは汎用性はあるはあるものの、大規模構造物を広範囲に検査する場合、(1)同定時に数値解析・最適化計算を複数回行う必要があるため、CPUに重い負荷がかかる、(2)複雑な構造物においては局所解にはまり込み、真の解が得られにくくなる、(3)非常に大がかりな設備を要する、などの問題があり、迅速性・簡便性に欠けている。

そこで本研究では、構造物の解析手法として、有限要素法を、また逆解析の最適化手法として遺伝的アルゴリズム(以下 GA)を用いて、広範囲の大規模構造物の欠陥同定を迅速、かつ簡便に行える逆解析手法の開発を試みるものである。本研究では、損傷程度といった詳しい情報を必要とするため、GAの中でも特に実数領域適応型遺伝的アルゴリズム¹⁾(以下 実数領域適応型 GA)の適用を試み、その有用性を数値計算により確認している。

2. 実数領域適応型 GA

従来 GA は、遺伝子を2進数で表現することが多く、一般にスケジューリング問題や配置問題、経路探索問題など、離散値を扱う最適化問題に適用されてきた。しかし、実社会で起こり得る最適化問題は、離散値のみで解決できることは少なく、実数値を必要とする場合が多い。そこで GA では実数値を扱うために、様々な工夫がなされてきた。その代表的なものとして、

- (1) ある範囲内を分割することで実数値を取る。
- (2) 有効桁各に値を 0/1 の2進数で表す。
- (3) 遺伝子列に直接実数値を入れる。

などの手法があげられる。しかし、(1)の手法では、実数値が取り得る上下限界を変更するといった工夫がされていない。そのため、範囲外の実数領域や、分割によって得られた実数値間に最適解がある場合などは、一度探索が終了した後に、再び実数領域の設定を変更して、再度探索を行わなければならないといった問題がある。(2)の手法においては、実数値の精度を上げるために、遺伝子列の長さを増やさなければならないなど、多大な計算時間やメモリ容量が必要となる。また、(3)の手法では、初期世代の実数値が探索に大きく影響を与えてしまい、

大域的な探索が行えない、などの問題点がある。

そこで、本研究では、これらの問題点を改善した手法である、実数領域適応型 GA を最適化手法として用いている。

実数領域適応型 GA は、少ないビット数で実数解を求めることが可能であり、初期離散値にこだわることなく、実数値の上下限値を各世代ごとに適宜変更して、最適解を求めることが出来る。またバイナリ表現から実数へ変換する処理において、厳密な最適解を得るために、特にビット数を多く設定する必要がなく、計算時間とメモリ容量の軽減が図られている。

この手法では、対象となる世代の前世代において得られた個体群の平均値(μ)、標準偏差(σ)を式(1)に与えることで、図-1 のような正規分布を基調としたグラフを考える。

$$N(x) = \exp(-(x - \mu)^2 / 2 / \sigma^2) \quad (1)$$

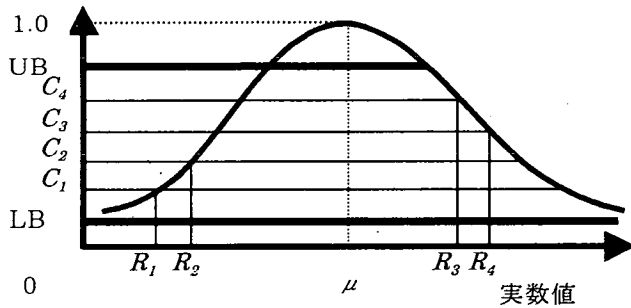


図-1 実数化処理の概念

実数領域適応型 GA では、図-1 の縦軸を、GA のビット列を元に分割することで実数値を得る。つまり式(2)によって、実数値 R を得ることが出来る。

$$\left. \begin{aligned} &\text{for } C(pi) < 2^{m-1} \\ &R(pi) = \mu - \sqrt{-2\sigma^2 \ln(LB + \frac{(UB-LB)C(pi)}{2^{m-1}-1})} \\ &\text{for } C(pi) \geq 2^{m-1} \\ &R(pi) = \mu + \sqrt{-2\sigma^2 \ln(UB - \frac{(UB-LB)(C(pi)-2^{m-1})}{2^{m-1}-1})} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式(2)の μ は平均値、 σ は標準偏差、 $UB \cdot LB$ はシステムパラメータの上下限値、 pi は遺伝子列、 $C(pi)$ は pi が表す遺伝子列を 10 進数に変換した値、 m はビットを表している。

3. 実数領域適応型 GA の欠陥同定問題への適用

本研究では、大規模構造物の広範囲な欠陥箇所や損傷規模を、迅速かつ簡便に同定する逆解析手法を開発することを目的としている。今回、提案している逆解析手法は、構造物の損傷箇所や損傷程度を実数領域適応型 GA により仮定し、この仮定を元に有限要素法により順解析を行っていく。ここで仮定された構造物の変位と、実際の構造物の変位(観測値)との誤差を縮めることにより、損傷箇所、損傷程度を同定しようとするものである。

図-2 に本研究の主な処理の流れを示す。

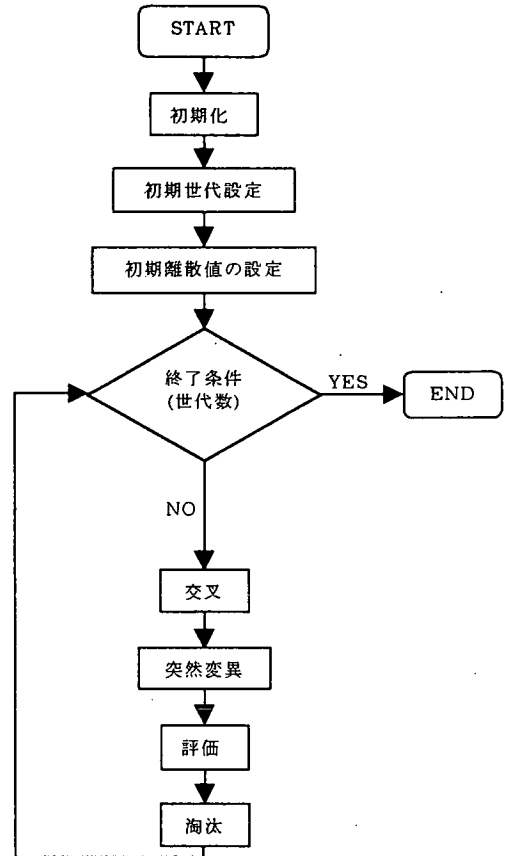


図-2 本研究の処理の流れ

ここで初期離散値とは、初期世代における実数値を設定したもので、例えば初期離散値の範囲を 0 から 10 とした場合、この範囲内を 8 等分して得られる値、1.25, 2.50, 3.75, ..., を初期世代が取り得る実数値としたものである。つまり初期世代における実数値のばらつき範囲を設定したものと言える。この値は、探索が進むにつれ適宜変化していくため、初期に設定した範囲外に最適解がある場合でも、解を探索することが可能である。

本研究では、実数領域適応型 GA の評価の段階で、以下のような処理を組み込んでいる。(図-3)。

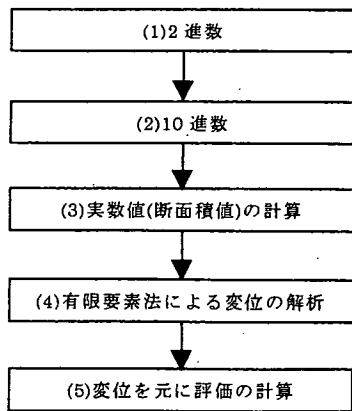


図-3 実数領域適応型 GA の評価方法

(1) 2進数

本研究では、設計変数ごとに 3 ビットの遺伝子列を割り当てている。

(2) 10進数

(1) のビット列を 0～7 の 10 進数に置き換える。

(3) 実数値(損傷程度)の計算

(2) で置き換えた数値を第 2 章で示した処理を施し、実数値を得る。このとき得られた実数値は、各要素の損傷程度を表している。

(4) 有限要素法による変位の解析

(3) で得られた損傷程度を元に、有限要素法を用いて各要素毎の変位 Z を計算する。

(5) 変位を元に評価の計算

GA を操作する上で、評価関数を式(3)に設定する。対象となっている梁をあらかじめ有限要素法で解析して求めた変位を観測値 Z とし、GA が仮定した損傷程度から梁を有限要素法で解析して得られた変位を Z_n とする。この Z , Z_n の誤差 ε を評価関数として用いる。なお、 p は要素数である。

$$\varepsilon = \sum_{n=1}^p (Z - Z_n)^2 \quad (3)$$

式(3)で得られた値が評価値であるが、ここでは GA の処理上、適応度関数を式(4)としている。

$$S = 1 / \sum_{n=1}^p (Z - Z_n)^2 \quad (4)$$

4. 欠陥同定問題の適用例

今回対象とした構造物は、図-4 の 4 要素からなる単純梁である。本研究では、この梁のある要素の断面積が損傷や老化などで変化すると想定し、その損傷箇所と損傷程度(断面積)の 2 パラメータを、本研究で提案した手法で同定する。

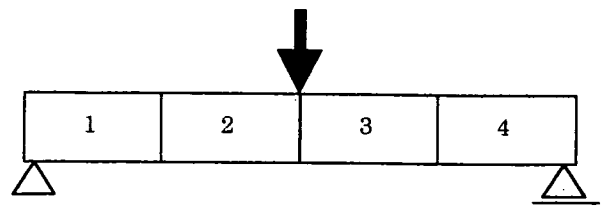


図-4 解析モデル

適用例 1

図-4 の解析モデルにおいて、2 番目の要素の断面積が損傷していると想定し、断面積の解析を行った。要素 1=100, 要素 2=50, 要素 3=100, 要素 4=100 とし、各要素の初期離散値は下限 0, 上限 50 に設定とし、母集団は 40 個体とし、交叉率は 50%, 突然変異率は 50% とし、交叉方法は、ルーレット選択による 1 点交叉とし、最大探索世代は 40 世代とした。また、UB, LB はそれぞれ、0.9, 0.1 とした。

以上の設定において探索を行った結果、26 世代目で最適値を得た。解の断面積は、要素 1=104.183, 要素 2=49.929, 要素 3=98.630, 要素 4=103.594 と、正解にはほぼ等しい精度の良い解を得ることが出来た。図-5 は世代ごとの各断面積の変化を示している。

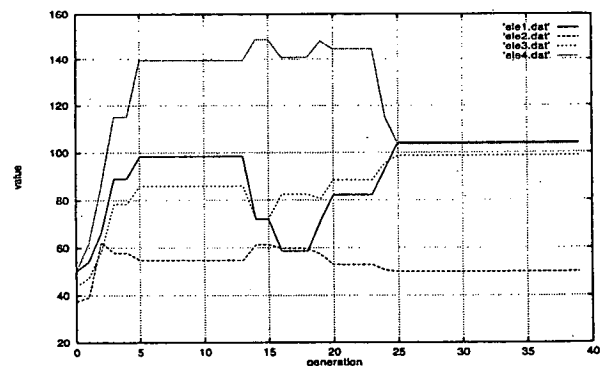


図-5 適用例 1 の結果

これより探索が進むにつれて、解が正解に近づいている様子がわかる。また今回、初期離散値を 0～50 の範囲としていたが、解はこの範囲外に出現している。つまり、初期にの設定した範囲外に最適解がある場合でも、解を求めることが可能であることが証明されている。

適用例 2

本システムの解の信頼性を検証するため、GA の乱数の初期値を変え、適用例 1 と同様の逆解析を行った。各要素、パラメータなどの数値は適用例 1 と同じ値を与えている。この場合では、32 世代目で最適値を得た。その時の各要素の値は、要素 1=103.079, 要素 2=49.111,

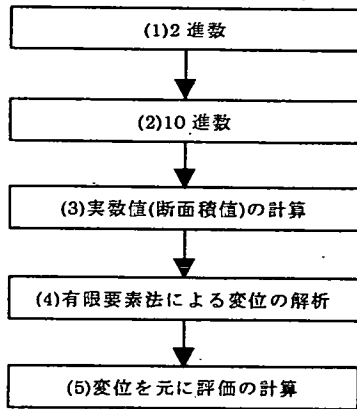


図-3 実数領域適応型 GA の評価方法

(1) 2進数

本研究では、設計変数ごとに 3 ビットの遺伝子列を割り当てている。

(2) 10進数

(1) のビット列を 0～7 の 10 進数に置き換える。

(3) 実数値(損傷程度)の計算

(2) で置き換えた数値を第 2 章で示した処理を施し、実数値を得る。このとき得られた実数値は、各要素の損傷程度を表している。

(4) 有限要素法による変位の解析

(3) で得られた損傷程度を元に、有限要素法を用いて各要素毎の変位 Z を計算する。

(5) 変位を元に評価の計算

GA を操作する上で、評価関数を式(3)に設定する。対象となっている梁をあらかじめ有限要素法で解析して求めた変位を観測値 Z とし、GA が仮定した損傷程度から梁を有限要素法で解析して得られた変位を Z_n とする。この Z 、 Z_n の誤差 ε を評価関数として用いる。なお、 p は要素数である。

$$\varepsilon = \sum_{n=1}^p (Z - Z_n)^2 \quad (3)$$

式(3)で得られた値が評価値であるが、ここでは GA の処理上、適応度関数を式(4)としている。

$$S = 1 / \sum_{n=1}^p (Z - Z_n)^2 \quad (4)$$

4. 欠陥同定問題の適用例

今回対象とした構造物は、図-4 の 4 要素からなる単純梁である。本研究では、この梁のある要素の断面積が損傷や老化などで変化したと想定し、その損傷箇所と損傷程度(断面積)の 2 パラメータを、本研究で提案した手法で同定する。

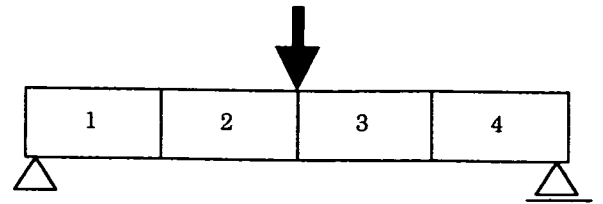


図-4 解析モデル

適用例 1

図-4 の解析モデルにおいて、2 番目の要素の断面積が損傷していると想定し、断面積の解析を行った。要素 1=100, 要素 2=50, 要素 3=100, 要素 4=100 とし、各要素の初期離散値は下限 0, 上限 50 に設定とし、母集団は 40 個体とし、交叉率は 50%, 突然変異率は 50% とし、交叉方法は、ルーレット選択による 1 点交叉とし、最大探索世代は 40 世代とした。また、UB, LB はそれぞれ、0.9, 0.1 とした。

以上の設定において探索を行った結果、26 世代目で最適値を得た。解の断面積は、要素 1=104.183, 要素 2=49.929, 要素 3=98.630, 要素 4=103.594 と、正解にほぼ等しい精度の良い解を得ることが出来た。図-5 は世代ごとの各断面積の変化を示している。

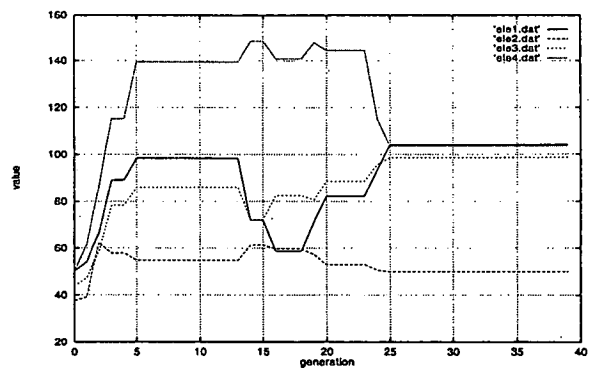


図-5 適用例 1 の結果

これより探索が進むにつれて、解が正解に近づいている様子がわかる。また今回、初期離散値を 0~50 の範囲としていたが、解はこの範囲外に出現している。つまり、初期にの設定した範囲外に最適解がある場合でも、解を求めることが可能であることが証明されている。

適用例 2

本システムの解の信頼性を検証するため、GA の乱数の初期値を変え、適用例 1 と同様の逆解析を行った。各要素、パラメータなどの数値は適用例 1 と同じ値を与えている。この場合では、32 世代目で最適値を得た。その時の各要素の値は、要素 1=103.079, 要素 2=49.111,