

進化環境の初期化指標に情報エントロピーを用いた交配個体選択GAの改良

九州共立大学工学部 学生会員 坂口 健宏
九州共立大学工学部 正会員 三原 徹治
第一復建(株) 正会員 千々岩浩巳
九州大学工学部 正会員 太田 俊昭

1. 緒言 遺伝的アルゴリズム(GA)の最適解探索能力向上のため著者らが独自に開発した交配個体選択GA(scsGA)^{1),2)}では、解の収束までの計算世代数は全般にあまり大きくなく、いわゆる早期停滞傾向が認められる。このため良好な解を得るには人口数 N_p を比較的大きく設定して集団の多様性を確保する必要がある。一方、交配個体数 N_s は N_p の1~2割程度のとき良好な解が得られやすい傾向にあるので、良好な解を得るための望ましい計算ケース数は N_p の増大にしたがって大きくなる。この難点を克服するため、著者らは進化環境の初期化を導入した手法³⁾を別途提示しているが、そこでは進化環境の初期化条件として最良解や交配個体群の停滞などの表面的な諸量による条件に限定している。

そこで本研究では、scsGAの最適解探索過程において「集団の多様性が乏しくなると停滞現象が生じる」という仮説のもとに、多様性の尺度として導入した情報エントロピー値⁴⁾による進化環境の初期化条件を用いた改良アルゴリズムを提示し、その解法特性を数値実験により検討する。なお、数値実験には著者らが過去の研究で取扱ってきた10部材トラス構造の応力制約下の最小重量設計問題¹⁾を用いる。

2. scsGAの解探索過程における情報エントロピー変化**(1) 多様性の尺度としての情報エントロピー：**

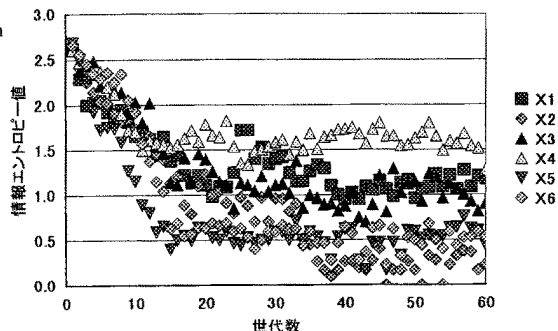
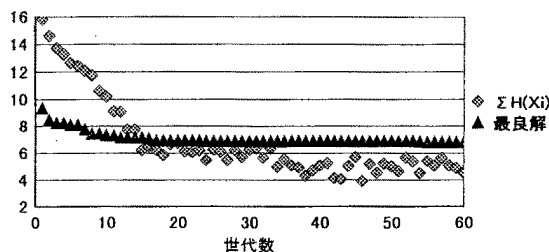
情報通信理論では基本的概念とされているShannonのエントロピー関数⁴⁾を本研究では情報エントロピーあるいは単にエントロピーと呼ぶ。人口数 N_p を設定したGAによる最適化過程で、ある世代における設計変数 X_i に関するエントロピー $H(X_i)$ は式(1)で算定される。ここに、 J_i =設計変数 X_i の解候補(=離散値データ)の総数、 K_{ij} = X_i のj番目の離散値データの出現度数であり、 $p_{ij}=0$ のとき $0 \cdot \log 0 = 0$ と解釈する。

$$H(X_i) = -\sum_{j=1}^{J_i} p_{ij} \log p_{ij}, \quad p_{ij} = K_{ij}/N_p \quad \text{--- (1)}$$

式(1)に示すエントロピー $H(X_i)$ は全 J_i 種類の離散値データが均等に出現するとき最大値をとり、ある1種の離散値データしか出現しないとき最小値(=0.0)をとる。つまり、設計変数 X_i に関する多様性が乏しくなると $H(X_i)$ は減少傾向を示し、多様性を数値的に把握するための尺度となり得る。

(2) 数値実験によるエントロピー変化状況の観察：

scsGAの解探索過程においてエントロピー値の変化状況を観察するため、数値実験対象問題(設計変数の数=6, 各設計変数の離散値データ総数=16)をscsGA($N_p=50$, $N_s=10$, 計算世代数 $N_g=60$, 突然変異発生確率=0.1)によって最適化すると55世代目に最適解が得られた。図-1に世代数~各設計変数 X_i ($i=1 \sim 6$)に関するエントロピー $H(X_i)$ 関係を、図-2に世代数~最良解の目的関数値、 $\Sigma H(X_i)$ 関係をそれぞれ示す。最良解の活発な改良が見られる20世代前後までは $H(X_i)$ 値はほぼ一様に減少している。各設計変数の離散値データの出現頻度が初期の全くランダムな状態から徐々

図-1 世代数~ $H(X_i)$ 関係図-2 世代数~最良解の目的関数値、 $\Sigma H(X_i)$ 関係

にまとまり状態へ移行しているためと推察される。それ以降は、しかし、解更新の停滞と符合するように、 $H(X_i)$ 値は平衡状態を示している。また $H(X_i)$ 値は時として増加することもある。このまとまり状態への移行とは逆の現象は多様化への動きと解釈することができる。よってここでは、大半(ここでは6設計変数のうち5つ以上)の $H(X_i)$ 値が増大する場合を多様化現象と呼び、中でもすべての $H(X_i)$ 値が増加が生じる現象を完全多様化現象と呼ぶこととする。さらに集団の多様性を総合的に判断するための一指標 $\Sigma H(X_i)$ 値は、その増大を示す世代と解更新の停滞開始世代がかなりの度合いで一致する傾向が見られ、効果的な進化環境の初期化条件に利用できる可能性が観察される。

3. 進化環境の初期化条件に情報エントロピーを導入したscsGAの改良と数値実験結果

(1)scsGAの改良アルゴリズム：以上のようにscsGAの最適化における最良解更新の停滞とエントロピー値には何らかの関連が認められる。よって、ここでは別途提示した改良アルゴリズム(進化環境初期化を導入した方法)の初期化条件として、エントロピー値をベースにした条件を採用することとする。具体的には表-1の「初期化条件の凡例」に示す4種7条件を設定した。

(2)数値実験結果：表-1に各初期化条件による計算結果を示す。表には N_F を50, 40, 30(計算世代数 N_G は $N_F \times N_G$ が一定となるよう調整)とし、各 N_S ごとに得られた最良解(太字は最適解(=6.82861)、斜体は7.0以上の良好とは評価できない解)およびその最良解が得られた世代数(斜体は N_G の2/3以下を示し、早期停滞が生じたケースに相当する)を示しており、scsGA単独による解も併記している。

scsGA単独では最適解が得られたケース数は1だけであり、最適解に至らず早期に収束したケース数は9もあった。これに対して改良アルゴリズムでは、設定したすべての条件で $N_F=30$ でも最適解が少なくとも1ケースは得られ、最適解に至らず早期に収束したケース数は最大でも6(条件I)など、全般に良好な結果が得られている。特に、条件II'とIVによる結果は最適解が得られたケース数が7および8と非常に多いことが注目される。いずれも個々のエントロピー値ではなくその総和をベースとした条件である。ただし、特別な限界値を必要としない条件IVと問題が異なれば限界値も適切に設定し直す必要がある条件II'では、数値実験例が乏しい現状では断定は難しいが、進化環境初期化条件として条件IVが有力と評価することができる。

表-1 数値実験結果

N_F (N_G)	N_S	scsGA		条件I		条件I'		条件II		条件II'		条件III		条件III'		条件IV	
		最良解	*	最良解	*	最良解	*	最良解	*	最良解	*	最良解	*	最良解	*	最良解	*
30 (100)	3	7.66175	25	6.82861	60	6.90031	32	6.82861	100	6.82861	97	6.82861	96	6.89472	79	6.82861	53
	4	7.15328	16	6.92531	98	6.82861	65	6.94654	39	7.03228	12	6.94654	88	6.97757	97	6.94371	52
	5	7.16732	29	6.99842	22	6.86461	99	6.82861	90	6.82861	44	6.90081	91	6.94371	76	6.82861	100
	6	7.21910	77	6.90076	48	6.90076	84	6.93462	84	6.82861	63	7.12370	60	6.82861	80	6.97366	77
40 (75)	4	7.09237	44	7.06453	47	6.90076	35	6.82861	37	6.92516	45	6.96687	41	6.85301	72	6.92516	63
	5	6.99842	25	6.90076	47	6.85301	11	7.00982	40	6.97094	64	6.82861	39	6.91912	48	6.82861	56
	6	7.70951	19	6.89472	73	6.82861	52	6.94654	61	6.82861	69	6.82861	65	6.92471	75	6.96687	30
	7	6.98254	55	6.86247	40	6.94371	70	6.85301	53	6.99842	44	7.02946	71	6.99842	61	6.94654	75
50 (60)	8	6.89472	35	6.86247	60	6.85301	67	6.97971	51	6.89472	42	6.99842	33	6.91912	19	6.82861	59
	5	6.86461	50	6.89472	39	6.82861	44	6.93676	57	6.90076	53	6.94654	56	6.96871	59	6.82861	46
	6	7.80575	14	6.82861	47	6.94371	46	6.89472	35	6.89472	30	7.80575	14	7.80575	14	6.82861	38
	7	7.00821	34	6.82861	41	6.94371	27	6.86247	60	6.82861	30	6.86247	57	6.94371	47	6.99701	32
	8	7.00197	54	6.85301	56	6.99915	54	6.93180	56	6.86247	39	6.94654	39	6.94654	55	6.91972	48
	9	7.08251	52	6.85301	59	6.93180	50	6.96871	58	6.82861	33	6.92516	60	6.94654	56	6.82861	37
	10	6.82861	55	6.96871	58	6.96871	52	6.90076	26	6.82861	34	6.92516	52	6.90076	33	6.82861	48

*:最良解が得られた進化世代数。

初期化条件の凡例/条件I: $H(X_i)$ 値のいずれかが1.4以下、条件I': $H(X_i)$ 値のいずれかが1.1以下、

条件II: $\Sigma H(X_i)$ 値が8.4以下、条件II': $\Sigma H(X_i)$ 値が6.6以下、

条件III:多様化現象の発生、条件III':完全多様化現象の発生、

条件IV: $\Sigma H(X_i)$ 値の増大が連続2世代。

4. 結 言 本研究ではscsGAのさらなる改良を目指し、集団の多様性の尺度として導入した情報エントロピー値をベースとする種々の進化環境の初期化条件を用いた改良アルゴリズムを提示した。数値実験結果から有力な初期化条件として条件IV($N_G(X_i)$ 値の増大が連続2世代)を見出すことができた。

参考文献 1)千々岩,三原,太田:離散的最適構造設計への交配個体選択GAの適用に関する一考察,構造工学論文集,Vol.42A,1996.3. 2)千々岩,三原,太田:GAによる鋼管杭基礎構造の最適配置決定法に関する研究,土木学会論文集, No.549/1-37,1996.10. 3)黒木,三原,千々岩:早期停滞防止のための進化環境初期化を導入した交配個体選択GAの改良,土木学会西部支部研究発表会議演習要集,1999.3. 4)有本:確率・情報・エントロピー,森北出版,1980.11.