

要旨

指定した気候によって得られる環境に対して、与えられた木の遺伝子が世代交代し淘汰されることで、どの様に成長（環境適応）していくかのシミュレーションをGAで行なう。そのため、人工的な遺伝子とその環境に対する適応度を設定し、計算機実験を行なう。樹木の形状表現にはフラクタルパラメータと遺伝子とを対応づけ、フラクタル理論による作画を行なう。

1. はじめに

近年、AIの分野の一部としてNNW、Lシステム、GA、SAなどが提案され、学習・推論・最適化等の問題に威力を発揮しはじめている。これらの特徴は、動作原理を生物・生態系のアナロジーから導入しており、また、いずれも並列計算が可能であるという特徴を持っている。本実験は、これらの特徴を生かし、与えられた環境における木の形態をGAを適用することにより求める実験を行なう。本実験における木の遺伝子等は、現実にある樹木の遺伝子と関係なく、疑似的に作成したものである。

2. 遺伝的アルゴリズム

"遺伝的アルゴリズム (genetic algorithms, GA)" はシステムの最適化手法の一つである。しかし、従来の最急降下法や準ニュートン法等の最適化アルゴリズムと多くの点で異なり、また、組み合わせ問題などの離散的問題に対して有効な方法である。その手続きを簡単に示すと以下ようになる。

- スキーマを文字列にコーディングする。
- スキーマ（文字列）の集団を扱う。（多点検査）
- 文字列をデコードし、実現されたスキーマの挙動を評価する。
- 淘汰により、次世代の親となる集団スキーマを選ぶ。
- 選ばれた集団スキーマに対して、遺伝的オペレータ（genetic operator）を施すことにより新しいスキーマを生成する。
- このサイクルを繰り返すことによりスキーマの集団のパフォーマンス（エネルギー）を向上させる

このような操作により、自然淘汰をシミュレーションにより実現し、最適化を行なうものである。遺伝的オペレータについては、突然変異（mutation）、交叉（cross-over）等が使用される。

3. GAによる木の環境淘汰の定式化

成長因子と遺伝子の表現

本実験における木の遺伝子の表現は、6つの特徴（成長因子）を記述した遺伝子を以下のように設定した。

$$S_i = \sum_{j=1}^6 S_{ij}$$

ここで S_i は木の i スキーマ、 S_{ij} は i スキーマの j 番目の因子であり、4ビットのビット列である。また、

Σ は S_{ij} のビット列結合を示す。各因子（木の特徴）はそれぞれ、木の太さ、幹からでている枝の数、枝の栄えでる角度、枝の伸びの比率、葉の大きさ、木の高さを表す。これをTable.1に示す。それぞれの成長因子については各4ビットのスキーマを持ち、表されるそれぞれの段階は16段階である。

また、遺伝子の制約条件となる環境因子を $E = \{E_k\}$ とする。

E として以下を設定した。

$$E = \{\text{日光、水、栄養、害虫、湿度、温度}\}$$

これらの環境因子の環境に対する評価は、選択される気候により決められ、本実験においては12の気候を定義した。

GAによる定式化

各気候に C_h による環境因子の設定値を $E_k(C_h)$ と置く。各遺伝子の環境因子に対応する適応度を $f_{ij}(E_{ij}, E_k)$ と置く。このとき、各遺伝子の評価は $f_{ij}(S_{ij}, E_k) - E_k(C_h)$ で与えられる従って、選択される遺伝子の問題は、

$$\text{minimize } \sum_{S_{ij}} \sum_{k=1}^2 [f_{ij}(S_{ij}, E_k) - E_k]^2$$

と定式化される。 $f_{ij}(S_{ij}, E_k)$ は表形式で与えられる。この例をTable.2に示す。

4. フラクタルによる木の作図

先に述べたように、木の特徴は6つの特徴により記述されており、これらを使用して、フラクタルで木を作図する。作図方法としては、6つの生成規則を与え平面的に作画を行なう。以下にそれを示す。

- 枝わかれは常に直前の枝の先端から2本に分かれる。
- 枝は立体的にはなく平面的に伸びる。
- 枝の伸びる方向は、直前の枝の方向に対して一定の角度だけ左右に傾く。
- 枝の伸びる長さは、直前の枝の長さに対して左右ある一定の比率で伸びる。
- 枝は重力に反して、一定の長さだけ上向きに伸びる。
- 枝は日照や風の影響によって一定の長さだけ横方向に伸びる。（本実験に関しては、風の影響は考えていない。）

以上の生成規則を繰り返し作画を行なう。また、これらのパラメータは、 S_{ij} に対応させてある。

5. 実験例

気候にAf（熱帯雨林気候）を選択して、60世代後の木をシミュレーションした。

この気候における木の特徴を表すエネルギーの収束状況をFig.1に示している。これを見てわかるように世代数が40世代を越えるころから、エネルギーがほぼ収束している。つまり、この気候に対して安定したエネルギー状態であることを示している。また、得られた木の特徴をTable.3に示す。また、フラクタルによる作図例をFig.2に示す。他の実験と本例から現実には似た木の特徴が得られていることが分かる。

同様のことは、任意に仮定した様々な気候においても成立し、それらの結果は現実の木と非常に似た特徴を表すことが分かった。特に、高山気候に関しては非常に現実に近い木の特徴が得られた。

6. 結言

この実験による類似性からも木の気候（環境）に対する適応が、木自身の特徴に何らかの関与をもたらしていると推察できる。また、本実験において疑似的に作成した遺伝子の並びが、それ自身においてこれらの特徴に大きく関わってくるところから見て、遺伝子の並び（構成）自身がある意味を持っているのではないかと推察ができる。

参考文献

- 1) 和田：遺伝的アルゴリズムと機械の進化、数理化学、No. 328. OCTOBER (1990), pp47-51
- 2) 加葉田他：概念設計のGAによる定式化と実験 1991年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集(1991), pp99-100
- 3) Lawrence Davis: Handbook Of Genetic Algorithms Van Nostrand Reinhold (1991)
- 4) 飯泉、菊池：植物群落とその生活、東海大学出版会(1980)
- 5) 出原：樹木、築地書館(1983)

Table. 1 Features and their corresponding genes.

Feature	S _{ij}
Thickness of a tree	S _{i1}
Height of a tree	S _{i2}
Rate of branching	S _{i3}
Spread angle of branches	S _{i4}
No. of branches	S _{i5}
Size of a leaf	S _{i6}

Table. 2 An example of evaluation.

Environment \ Value	0	1	2	3
Light of the sun	0	10	15	36
Water	0	5	10	20
Nutrition	2	5	10	36
Harmful Insects	6	20	40	60
Humidity	10	5	0	20
Temperature	10	5	10	20

Table. 3 A resultant gene suitable for a given climate.

Feature	Value
Thickness of a tree	12
Height of a tree	8
Rate of branching	6
Spread angle of branches	9
No. of branches	0
Size of a leaf	15

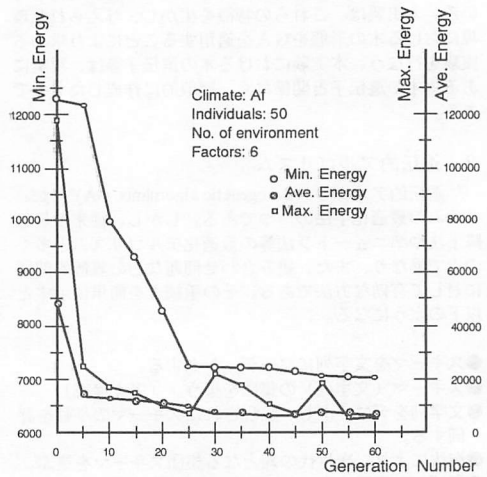


Fig. 1 Convergence Curves of min., max. and ave. energy.

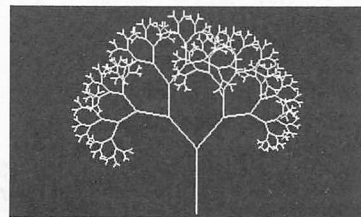


Fig. 2 Tree drawing using Fractal.