インタラクティブGAによる仮想日本庭園設計

*難波　政佳，　**小部　昌史，　***蔡　東生

*筑波大学理工学研究科，　**筑波大学理工学研究科卒，　***筑波大学電子情報工学系

１．はじめに

近年、Dawkins のバイオモルフ[1]や L-system に基づいた植物の生成[2]など、進化計算法[3]の CG 生成への応用が多くなってきている。また、龍安寺石庭の空間構成を、形状解析モデルを使って解析する手法が提案された[4]。そこで本研究では、「石庭」に着目し、インタラクティブ GA を用い３次元空間上にバーチャル庭園を構築することを試みた。庭園構築の指針として「形状解析モデル」と「設計段階で職人が拠り所とする設計ルール」に着目する。そして、庭園設計を形状解析モデルと現実的設計ルールに基づく庭園構成要素配置の制約充足問題と考え、インタラクティブ GA を用いて、設計支援ツールとして対話的にバーチャル庭園設計を行うことのできるアプリケーション開発を試みる。

２．形状解析モデル

枯れ山水の名庭として世界的に知られる龍安寺(京都市右京区)の石庭について「ランダムに見える石群の配置に１本の木の描像が隠されていて、安心感を与える構成になっている」という分析結果がトンダーらによって発表された[4]。トンダーらは、石群の位置と強さを数値化し、視覚認識学で使われる「中心軸変換」と呼ばれる方法で、石群の間に隠された対称線を探りだした。これらの対称線は、１本の木を形作っており、その幹は石庭の最良の鑑賞ポイントにつながっている。

この考えに基づき、得られた配置図に中心軸変換を施し、中心軸の幹が視点を通っているか判定し、その結果を制約の１つとして取り入れた。

３．庭石における設計ルール

日本庭園はあくまで自然の景を一定の空間に集約し表現する「自然美」を基本としているため、評価基準の定量的な扱いが難しく、その美しさの指標の測定、庭園の自動構築は困難である。しかしながら、全ての庭園設計が何の設計基準もなしに個々の設計者の全くの自由、創作によって行われているわけではもちろんない。ここでは、庭石における設計ルールについて、実在の庭園設計書[5][6][7]を参考にリストアップしてまとめた。ルールは大別して(1)据え方に関するもの、(2)数の構成に関するもの、(3)位置的な相関に関するもの、の３つの抽象的なものが存在した。

（１）据え方に関するもの
- 地面と平行に配置
- 左右均等に配置
- ２面以上が見える配置

（２）数の構成に関するもの
- 奇数単位の組合せで石群として配置

（３）位置的な相関に関するもの
- 中央部を避ける配置
- 鈍角不等辺三角形状の配置
- 石相互間の位置関係に対する考慮

４．インタラクティブGAによる庭園設計

遺伝的アルゴリズム(GA)とは、自然界の生物進化をモデルとして問題における最適解の探索を行うアルゴリズムであり、制約充足問題に対して幅広く使われている解法である。GA を用いた理由は、この方法では探索の方法を陽に指定する必要がなく、設計ルールの表現のみで配置探索を実現できると考えたからである。

しかし、数多くの要素とルールを組み入れるため、GA における染色体としての解個体のコーディング、評価関数の設定、適応度の計測と個体の選択が困難になってしまうと考えられる。また、あまりに複雑な制約を設定してしまうと、適応度の高いものとしてシステムが決定した配置が必ずしも人が美しいと感じられるものではなくなってしまう恐れがある。そこでシステムに人の主観を取り入れ、双方向的な庭園設計にすること、要素の増加による制約の複雑化を避けることを目的とし、インタラクティブ GA を導入する。

４．１．インタラクティブ GA

インタラクティブ GA とは GA の応用的手法であり、GA で行われていた選択部分をシステムでなく人間が行うというものである[8]。GA が自然淘汰による生物進化の過程をモデルとしていたのに対し、インタラクティブ GA は人為選択による品種改良の過程をモデルとしているといえる。

インタラクティブ GA は人間に選択を行わせるため、世代を形成する個体数にはおのずと限界があり、個体の多様性という点では単純 GA に及ばない部分がある。さらに、人間が個体を認識するために、染色体を理解しやすい表現型にとして適切な出力装置を介して表示する必要がある。

しかしながら、その解探索のプロセスには人間の美感や感性が大きく反映されることになり、よって評価関数の設定が難しいとされるような人間の主観的要素が絡んだ問題に対して有効であるとされ、現在までに CG やグラフィックアート等の芸術分野を中心にして様々な研究がなされている。

４．２．実装方法

庭園のサイズを幅、奥行きともに１６の正方形とする。庭石の数、大きさはある範囲内で利用者が自由に設定可能である。ただし３石ずつの石群単位での設定となっている。庭石は、据え方ルールに基づいてモデリングされたものを使用し、座標、サイズを遺伝データとする。

実行は、初期世代の個体群生成として各配置図に石の位置をランダムで設定し、それらに対してシステムの適応度評価が行われ、適応度順にソートした個体群の表現型としての庭園配置図を表示して、ユーザからの入力待ちとなる。染色体の遺伝子型としては各石の構造体を並べた構造体配列とし、評価関数としては、中心軸変換の結果と石の配置ルールをもとに設定した制約に対する違反度を測るものとした（表１）。設定した制約にはそれぞれ制約違反の重みが与えられており、適応度を fitness、重みを weight、制約に対する違反の度合いを degree とす

ると，染色体の適応度は式１で与えられる。

式１：$fitness = 1 / \Sigma(weight_i * degree_i)$　（i は制約の番号）

ここで違反の度合いとしては、各制約が満たされていない場合の、その程度の大きさ（例えば石群内の真の石とその他の石の隣接関係が満たされていないなら、その他の石が真の石からどれほど離れているかの距離）を実数値として与えるようにした。また、いくつかの制約に負の重みが与えられているが、これは正の制約であるためであり、違反度を減少させるように働いている。

番号	石配置の制約	重み
1	全ての石が中央部を避けている	10
2	石群同士，石群中の石が鈍角不等辺三角形状を形成している	-10
3	石群同士（群中の真の石同士）が対立関係にある	10
4	各石群中の石が隣接関係にある	10
5	中心軸が視点を通っている	-10

表１：IGA における石の配置に対する制約と重み

利用者からの選択が行われると、GA オペレータとして交叉と突然変異を実行する。ここでの交叉はランダムに生成したマスクビットにより決定する一様交叉とした。また突然変異は近傍へのランダムな変化とした。交叉と突然変異の終了後は再びシステムによる適応度評価、適応度順にソートしての庭園配置図表示となり、再び利用者からの選択待ちとなる。このような流れを繰り返していくことにより、利用者の主観を取り入れた石の配置を行うことができる。実行にあたっては個体数を 100、交叉率を 0.8、突然変異率を 0.01 とした。

５．庭園設計システム

５.１.システム構成

システムは利用者に対して庭園設計図の表示を行う庭園表示部と GUI による操作を行うコントロール部から成り立っている（図１）。

表示部では、設計を実行中の庭園の表示を行う。コントロール部で庭園を眺める視点を変更することができ、TOP_VIEW、SIDE_VIEW、WALK_THROUGH の３通りの設定が可能である。また、表示方法を WIRE_FRAME、POLYGON の２通りから選択可能である。

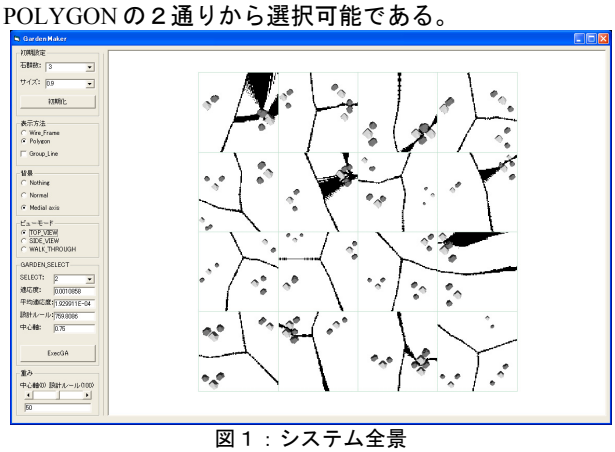

図１：システム全景

５.２.実行結果

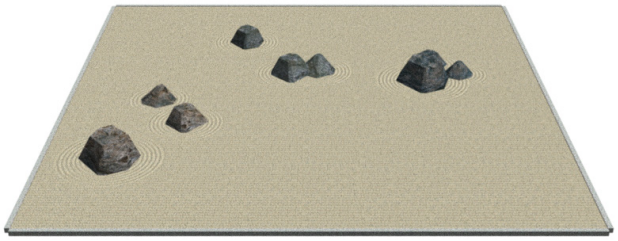

図２：実行結果をレイトレーシングしたもの

６．考察と今後の展望

６.１.考察

中心軸変換の解析結果と実際の設計ルールの両方を考慮することにより、より現実的な庭園設計を実現できた。また、再帰的に不等辺三角形を形作るように石群を配置することと、中心軸が視点を通ることには深い関係があると思われる。

インタラクティブ GA を用いた庭園設計システムは、選択と GA オペレータを繰り返していくことで利用者の満足度も高まっていくことが期待できる。さらに、各ステップでのシステムの計測する平均適応度が徐々に上昇していくことが認められた。しかし、インタラクティブ GA は人間に選択を行わせるため、システム操作者の疲労問題を考慮し、提示できる個体数は、画面上に表示できる面積で個体数が制限を受けるため、個体の多様性という点では単純 GA に及ばない部分がある。同様に、探索世代数も、せいぜい１０世代や２０世代といったオーダーにならざるを得ない。

６.２.今後の課題

現在のシステムでは、中心軸変換の解析結果を中心軸が視点を通るかどうかの判定だけにしか使用していない。中心軸と再帰的な不等辺三角形の関係から、フラクタル性などの検証をして設計に生かしていく事が考えられる。

GA において、各制約における重さの設定が曖昧に行われている。そこで、実際の庭園要素配置図に評価関数を適応させることにより各制約の重み付けをはっきりさせたい。

また、中心軸変換の処理でかなり時間がかかってしまうため、計算アルゴリズムの改善も検討しなければならない。

参考文献

[1]「The Blind Watchmaker」 R.Dawkins Longman 1986
[2]「Interactive evolution of L-system grammars for computer graphics modeling」 J.McCormack Biology to Computation pp.118-130
[3]「Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capacities of EC Optimization and Human Evaluation」Hideyuki Takagi Proceedings of the IEEE, vol.89, no.9, pp.1275—1296
[4]「Visual structure of a Japanese Zen garden」GertJ.Van Tonder ら Nature, vol.419, pp.359
[5]「作庭帖 自然風庭園の手法」 秋元通明著 誠分堂新光社
[6]「庭園の設計」 永嶋正信著 理工図書株式会社
[7]「施工本位　石組写真集」 上原敬二編 加島書店
[8]「遺伝的アルゴリズム」 北野宏明編 産業図書

The design of the Japanese Garden using Interactive GA
*Masayoshi Nanba, * Masashi Kobe**, Dongsheng Cai
*,**Master's Program in Science and Engineering at University of Tsukuba
*** Institute of Information Sciences and Electronics,University of Tsukuba