HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	人工生物のための形態創発可能な遺伝子表現型に関する研究
Author(s)	萬谷, 和之; 鈴木, 育男; 山本, 雅人 他
Citation	精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2010, 695-696
Issue Date	2010-09-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51251
Type	journal article
File Information	K15_695696.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

人工生物のための形態創発可能な遺伝子表現型に関する研究

○ 萬谷　和之(北海道大)　　鈴木　育男(北海道大)
山本　雅人(北海道大)　　古川　正志(北海道大)

A Study on Genotype Representation which is capable of the emergence of the morphology for Artificial Creature

Kazuyuki Yorozuya, Hokkaido University
Ikuo Suzuki, Hokkaido University
Masahito Yamamoto, Hokkaido University
Masashi Furukawa, Hokkaido University

we proposed the genotype of the morphology of the artificial creature in physically virtual three-dimensional worlds. The genotype is consists of the lists of the information on the shape of the primitive and on the connection of the primitives, and we defined the generating method based on that genotype. In this paper, we propose the co-evolution method of the morphology and the behavior of the artificial creature under a certain evaluation function, and run the experiment for acquisition of behavior on the task. The results of our experiments show our method has the availability and the diversity.

Key Words : Artificial Life, Morphology Evolution, Co-Evolution

1. はじめに

近年，計算機技術の発展により，グラフィックスの描画，処理能力が向上している．それに伴い，人工生物を用いた三次元アニメーションの生成[1]や，物理環境下でのシミュレーションによる行動獲得実験等の研究[2]が多く行われている．そのような人工生物の生成には，環境が動的であること，また環境と人工生物自身との相互作用が考慮されるため，進化的計算方法が有力である．進化方法としては，自然界の生物に倣い，行動と形態の共進化が注目されている．このような背景から，人工生物の行動進化,さらに形態進化に関する研究[3][4]が一層重要視されている．

しかし，従来の研究では，人工生物を構成するプリミティブ数，種類数共に比較的少ない．また，プリミティブの接続も，特定の位置に限定されていることが多い．そのため，行動進化に比べて，形態進化にはまだまだ制約が多く課せられている．形態の表現をより広くすることで，求められるタスクに対して，より最適な人工生物を生成できると推測される．

本研究では，三次元物理環境において，形態の表現性に着目し，複雑性と多様性のある人工生物を，進化的計算方法により生成することを目標とする．そこで，そのような人工生物の形態と行動の遺伝子型と，その表現に基づく共進化方法を提案した．また，簡単なタスク獲得による数値計算実験から，提案方法の多様性と有効性を示した．

2. 提案方法

人工生物の形態と行動の遺伝子型表現と，その遺伝子表現に基づいた生成方法を説明する．

3.1 形態と行動の遺伝子型表現

本研究では，遺伝子型の表現を可能な限り簡素にするため，人工生物を構成するプリミティブの情報をノードリスト，プリミティブ間の接続情報を隣接リストとして，遺伝子型を表現する．すなわち，隣接リストにより形態のトポロジ，ノードリストにより具体的な形状を表現する．また，行動の遺伝子型は隣接リスト毎に含まれ，各関節を独立に正弦波で制御する．

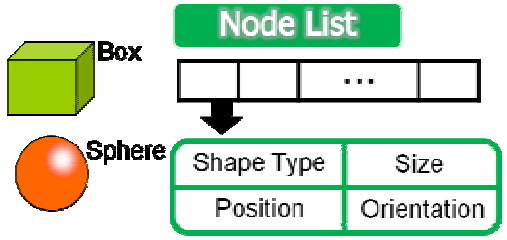

Fig.1 Node List

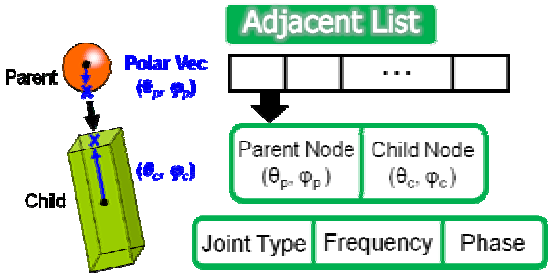

Fig.2 Adjacent List

3.1.1 ノードリスト(プリミティブの情報)

各ノードには，各プリミティブの形状，位置情報が格納される(図1)．ノードの集合は可変長の一次元配列により管理する．ノードリストにおける順序は，プリミティブの生成順である．

3.1.2 隣接リスト(プリミティブ間の接続情報)

プリミティブ間の接続情報として，接続している二つのプリミティブ，それぞれのプリミティブの接続点がある(図2)．それぞれのプリミティブは，ノードリストの順序から親ノード，子ノードの関係が決定し，それぞれの接続点は二つのパラメータ(θ,φ) により表現する．この表現により，プリミティブは自由に接続が可能である．隣接リストにより，遺伝子型は形態のトポロジを表現できる．また，行動の遺伝子型として，関節の自由度，正弦波の周期，位相がある．

3.1.3 致死遺伝子

提案方法では，プリミティブの配置は自由に行われる．そのため，プリミティブ間のめり込みが起こる可能性があり，不安定な挙動の原因になる．そのような状態となる遺伝子型を，本研究では致死遺伝子とする．そのため，表現型生成時にプリミティブの衝突がある場合には，その原因となるプリミティブを消去する．

3.2 進化方法

人工生物の進化方法は，遺伝子型がトポロジを持つことから，遺伝的プログラミング(Genetic Programming, GP)[5]を基にしている．初期個体生成，選択については省略する．

個体の評価は表現型により行う．遺伝子型から表現型を発現するには，ノードリストを順に走査してプリミティブを生成し，隣接リストからプリミティブの配置を決定する．

遺伝演算には，ノードの追加，交叉，突然変異がある．ノードの追加は一つのランダムなパラメータを持つノードを，木構造のランダムな位置に追加する．交叉は二つの個体から，それぞれランダムに交叉点としてノードを一つ選択し,そのノード以下の部分木を入れ替える．突然変異はトポロジを対象とする操作とパラメータを対象とする操作がある．

3．数値計算実験

3.1 実験内容

提案方法による人工生物の共進化の多様性と有効性の検証を行う．簡単な例として，スタート地点から人工生物の最終地点までの距離を，制限時間内に最大化する問題を扱う．前述の通り，人工生物はプリミティブ間に関節となる球が存在し，各関節を正弦波により角度制御することで移動できる．生成された人工生物と，評価値により多様性と有効性を検証する．ただし，問題を簡単にするため，最大ノード数を設けた．その値を超えるノード数を持つ個体にはペナルティを課し，ノード数が増えることにより，探索空間が膨大になることを防止する．

3.2 実験条件

進化計算のパラメータとして，個体数50，世代数100，初期ノード数3，最大ノード数20，交叉率0,3，二つの突然変異率を0.1とした．また，シミュレーションステップを600，関節の可動角を[-30,30]，周期の範囲を[7,10]とした．使用するプリミティブは，直方体と球のみとし，サイズの範囲とサイズの合計長を設定した．以上の条件で実験を十回行った．

3.3 実験結果

図3に最良個体の一例を挙げる．得られた最良個体の特徴として，形態のほとんどを大きな球が占め，その球を中心にして回転することにより移動している．移動方法は，進行方向に回転するパターンと，進行方向に直交する軸周りに回転

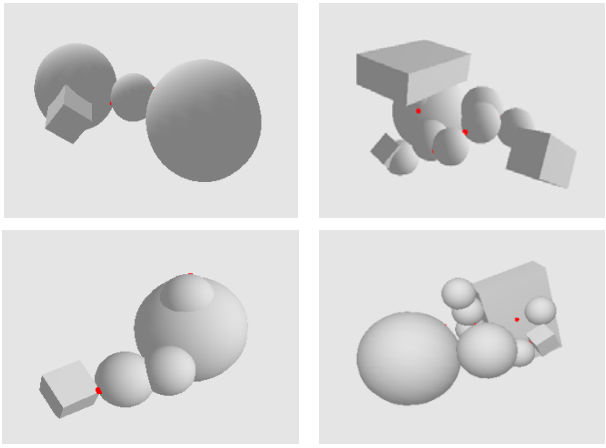

Fig.3 the examples of the best individual

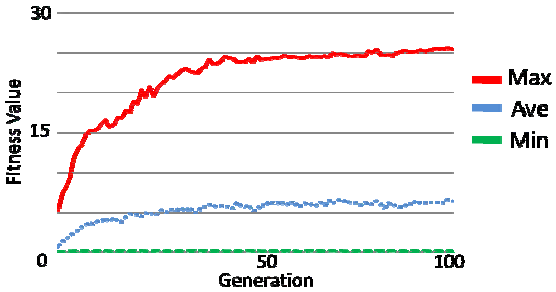

Fig.4 The process of the fitness value

することにより，遠心力を利用するパターンの2種類に大別される．球に付属しているプリミティブは，個体によって数や接続位置が様々である．また，図4に10回平均の評価値の推移を挙げる．評価値の最大値から，進化が行われていることが確認できる．以上のことから，提案方法により生成される人工生物の有効性と多様性が示された．

4．結言

本研究では，形態の表現性に着目し，進化的計算により，複雑性と多様性のある人工生物を生成を目標として，形態と行動の遺伝子型とその表現に基づく共進化方法を提案した．また，実験により，提案方法の有効性と多様性を示した．

しかし，今回行ったタスクは至極簡単なため，より複雑なタスクに対しても同様のことが示されるか検証の必要がある．現状の行動の遺伝子では，単調な行動しか獲得できない．そのため，複雑なタスクを学習させるには，意思決定をより高度に行える遺伝子型に改善することが課題である．また，形態を構成するプリミティブも，より複雑な形状を扱える遺伝子型を提案し，その結果についても調査する予定である．

文献

[1] J. Wu and Z. Popovic, "Realistic modeling of bird flight animations", 2003.
[2] K. Sims, "Evolving Virtual Creatures".
[3] Maciej Komosinski, "The world of Framsticks: Simulation, evolution, interaction", 2000.
[4] G.S Hornby and J.B Pollack, “Evolving L-Systems to generate virtual creatures”, 2001.
[5] J.R. Koza, “Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection”.