



Title	木構造による仮想生物の形態のGenoType表現の提案
Author(s)	萬谷, 和之; 鈴木, 育男; 山本, 雅人 他
Citation	情報処理北海道シンポジウム講演論文集, 2009, 250-251
Issue Date	2009-10-03
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/51079">https://hdl.handle.net/2115/51079</a>
Rights	ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。
Type	journal article
File Information	Hokkaidosympo2009250-1.pdf



# 木構造による仮想生物の形態の GenoType 表現の提案

萬谷和之\* 鈴木育男 山本雅人 古川正志  
(北海道大学工学部)<sup>†</sup> (北海道大学 大学院情報科学研究科)

## 1 はじめに

近年、コンピュータ技術の発展により、アニメーションの描画、処理能力が向上している。それに伴い、物理環境中で自律的に行動を獲得するアニメーションの生成や、仮想生物の行動獲得、群行動に関するシミュレーションなどの研究が多く行われている。このような目的における仮想生物の行動の獲得には、仮想生物の形態が大きく影響を及ぼし、生物の行動の学習、進化の重要な要素となりうる。しかし、行動獲得の手法として、ニューラルネットワークや強化学習などの一般的な手法が確立されているのに対して、多様性のある仮想生物の形態の表現に関する研究、及び行動と形態を共に進化させる研究は、K.Sims[1]以降あまり行われていない。

そこで本研究では、従来の研究の成果も踏まえて、ある程度の複雑性を表現可能でありながら、その表現方法を容易かつわかりやすいものにし、仮想生物の多様な PhenoType の表現を目的として、仮想生物の形態の GenoType 表現に木構造を用いることを提案する。

## 2 関連研究

仮想生物の形態と行動の進化についての研究は、K.Sims[1]によって行われている。Sims は、動的な環境において他の生物との相互作用により、仮想生物は環境に適応した多様性や複雑性のある生物に進化でき、生物の行動と形態が互いに影響を及ぼしあって進化していくと述べている。Sims の行った研究では、3次元物理空間において2体の仮想生物を競争させる実験により、生物を共進化させ適応度の高い生物を生成できる結果を示している。この実験では、仮想生物の形態は GenoType (遺伝子型) を有向グラフ、PhenoType (表現型) を3次元の剛体により表現している (図1)。有向グラフはノードとコネクションから構成され、ノードは剛体の形状や、他の剛体とのジョイントの設定を表現し、コネクションは始点ノードに対する終点ノードの座標位置やスケール、傾きを表す。表現型は有向グラフにおいて起点となるルートノードから、コネクションを辿ることにより生成される。

また、生物の複雑性を追求し、より自然な形態の生成のため、生物の形態に対称性、規則性を持たせることを目的として L-System による表現が考案されている [2, 4] (図2)。GenoType はコマンド形式で表される。Sims の有向グラフによる表現は、GenoType の各要素が PhenoType の剛体に対一対応である。これに対し、L-System による

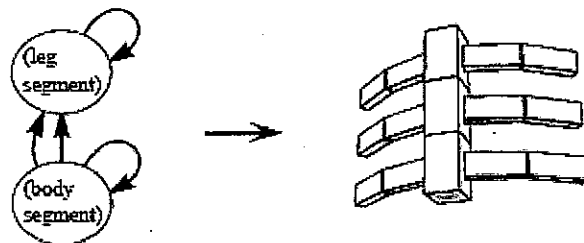


Fig. 1 有向グラフによる GenoType 表現

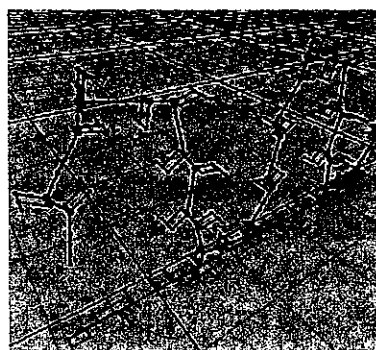


Fig. 2 L-System により生成された仮想生物

表現は、同じコマンドの再利用が可能であり、コンピュータプログラムのように規則性を持たせることが可能である。しかし、以上の手法にはまだ不十分な点がある。有向グラフによる表現は、視覚的に訴えた GenoType ではあるが、図から即座に読み取れる情報は、PhenoType による剛体のジョイント関係のみである。また、剛体の形状や位置関係などは読み取ることができない。一方、L-System による表現は、コマンドによる操作のため、複雑な仮想生物の表現を可能とする。しかし、生成された仮想生物の形態を把握するには、一連のコマンド列を走査しなくてはならない。そのため形態の詳細な情報を含有しているが直感的にわかりにくい問題がある。

## 3 提案手法

### 3.1 プリミティブの GenoType の表現

以上の問題点を踏まえ、本研究において仮想生物の形態の GenoType 表現を提案する。仮想生物の形態を表現するとき、重要である点はまず仮想生物が十分な複雑性、多様性を表現可能なことである。すなわち、仮想生物の行動とともに形態も、進化論的手法により容易に変形や合成などの操作を行うことができるのが望ましい。第二に、形態の GenoType 表現が PhenoType 表現のデータ構造を保存していることである。そうすることで GenoType

kazuyuki4628@complex.eng.hokudai.ac.jp  
札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学 大学院情報科学研究科

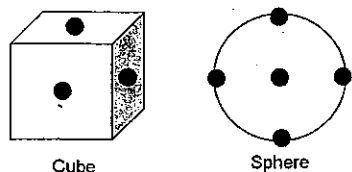


Fig. 3 使用するプリミティブの例

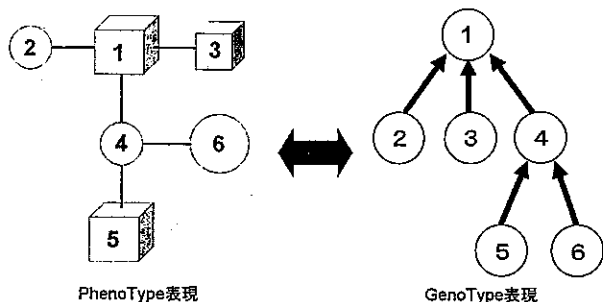


Fig. 4 Phenotype 表現と Genotype 表現

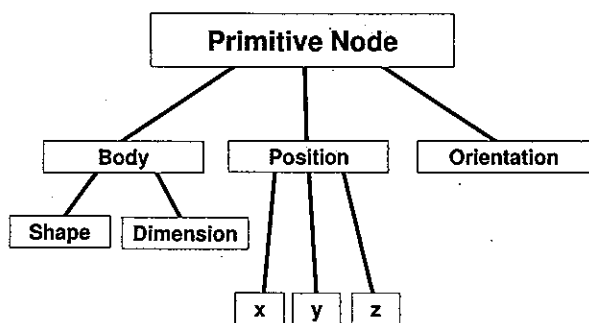


Fig. 5 プリミティブを表すノードの Genotype 表現

から形態の解析を行いやすいことはもちろんであるが、遺伝子の交叉などによって、意味のある遺伝子のみを生成できるオペレータを設定しやすいという利点もある。以上の点から、仮想生物の形態の Genotype 表現として、データ構造の保持ができ、扱いやすいと考えられる木構造を提案する。以下ではその詳細について例を用いて述べる。

### 3.2 ノードの表現

問題の簡略化のため、仮想生物を形成するプリミティブを立方体と球の2種類のみとする。各プリミティブには「芽 (bud)」を6個設定し (図3)、プリミティブ間のジョイントはその芽を接続点とする。ただし、1つの芽に対して接続できるプリミティブは1つだけである。形態の Phenotype 表現と Genotype 表現の例を (図4) に示す。それぞれの表現において、付随している番号はプリミティブの生成順である。番号が大きいプリミティブ程、新しく生成されたことを表す。プリミティブ間の線は、プリミティブがジョイントで接続されていることを表す。Genotype 表現ではプリミティブを木のノードとし、プリミティブ

を表すノード自体も木構造にする。(図5)のようにプリミティブの特徴を構造的要素として表現し、交叉などの遺伝子操作を適応する時には同じ要素同士で行う。このようにすることにより、適した Genotype を生成できる。その要素としては、プリミティブの形状の情報や座標位置、傾きの3つが挙げられる。shapeや座標位置などの情報はバイナリ列により表現する。

### 3.3 木構造の生成法

プリミティブの接続を表す木構造の生成について説明する。生成には木を構成するノードを列挙した Remove リスト、Work リストの2つを使用する。Work リストには Remove リストから選択されたノードを格納する。Work リストに Remove リストから1つノードが追加されるとき、Remove リストからそのノードを消去し、Work リストのノードから1つ任意に選択する。そして、そのノードと追加されたノードを接続する。芽の数を超えて接続することはできず、接続は隣接行列により表す。Remove リストが空になるまで以上の操作を行う。

## 4 今後の課題

仮想生物の形態の Genotype 表現として、木構造による表現を提案した。しかし、仮想生物がプリミティブを円形に連結した簡単な構造でも、ループ構造を所有している場合には、木構造では表現できないという問題点がある。また、今回の提案手法は制約条件の多い簡単な例によるものであるため、プリミティブの種類を増やす、芽によるジョイント制限を無くすなどして、問題を複雑化し表現力を高めていくことが求められる。形態の進化に関しては、Genotype が木構造であるので GP (Genetic Programming) [5, 6] などを適用することができ、提案手法による形態の表現によって、仮想生物が GP により、適応度の高い進化を達成できるかを実験していく予定である。

## 参考文献

- [1] K.Sims: Evolving 3D Morphology and Behavior by Competition, 1997.
- [2] G.S.Hornby, J.B.Pollack: Evolving L-systems to generate virtual creatures, 2001.
- [3] J.C.Bongard, C.Paul: Investigating Morphological Symmetry and Locomotive Efficiency using Virtual Embodied Evolution.
- [4] G.S.Hornby, J.B.Pollack: Creating High-Level Components with a Generative Representation for Body-Brain Evolution, 2002.
- [5] J.R.Koza: GENETIC PROGRAMMING, 1992.
- [6] 伊庭齊志: 遺伝的プログラミング入門, 東京大学出版会, 2001.