

高性能計算を用いた人工生命の研究

Artificial Life in Virtual Environment with High Performance Computing

原 健一郎 成見 哲

Kenichiro Hara Tetsu Narumi

電気通信大学 情報・通信工学専攻

Department of Communication Engineering and Informatics, The University of Electro-Communications

Artificial Life in virtual environment is a powerful technique since complicated interaction between individuals and environment is expected. However, current programs to control individuals in virtual environment work independently to the environment. We propose a complete virtual environment which includes a program itself in it. Simple examples of logical units are shown to work in virtual environment. In future, evolution of virtual creatures might be simulated only in virtual environment.

1. はじめに

人工生命の研究には、ソフトウェアだけで生命を模擬するものや、機械的なハードウェアで構築するもの、生化学的な物質で作り出すものなど様々なものがある。近年の計算機の進歩により、計算機の中の仮想的な環境（ここでは仮想物理世界と呼ぶ）で機械的なハードウェアを動作させるタイプの研究が行われている。仮想物理世界を作り出すためには、重力や摩擦力などの物理的な法則をシミュレーションする必要があり、PhysX [NVIDIA] のような物理演算用ライブラリが使われることが多い。

中村らは、PhysX を用いて流体の影響（浮力、抗力）をモデル化した仮想水中環境を作り出し、人工生物の遊泳獲得シミュレーションを行った [中村 09]。人工ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを利用して、人工生物が水の抵抗を利用して光源に向かう遊泳方法を獲得出来ることを示した。

Microsoft Visual Simulation Environment [Microsoft] は、ロボットの動作プログラムの開発を支援するために、仮想物理世界の中でユーザーが開発したロボットを動作させることが出来る。PhysX により物体の衝突などが正確にシミュレーションされるため、現実に近い環境でのテストを行うことが出来る。

人工生命が活動する環境を仮想物理世界で実現するメリットはいくつかある。一つは、環境を介した複雑な相互作用が予想されることである。たとえば、ライフゲームでは環境（自分の周りのセルの生死）は厳密に定義されているため予想外の動作を生み出し難い。リアルな仮想物理世界であれば、同じように周りにもものがある場合、微妙な差異が発生し、そこから複雑な動作が生み出される可能性がある。生命の複雑さの起源になりうるかもしれない。

もう一つのメリットは、実際に大量の機械を製作しなくても人工生命を活動させられることである。もちろん計算機の能力が必要ではあるが、例えば PhysX の場合は GPU による加速に対応しており、今後の技術の進歩による高速化が期待出来る。

本研究では、仮想物理世界の中に基本的な論理回路を実現することを目指す。中村らの研究 [中村 09] では水中生物の動作を予め設計されたルールにより進化させており、完全に仮想世界の中だけで動作しているとは言えない。完全に仮想世界の

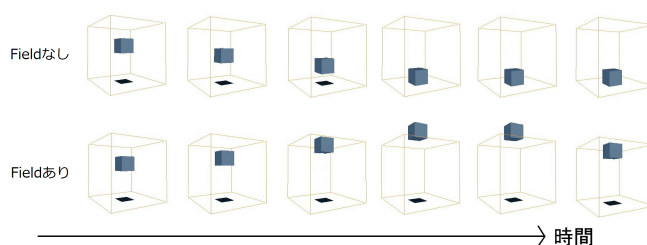


図 1: ForceField による力場の発生

中で動作させるには、プログラム自体が仮想世界の中で動作する必要がある。そこでまずは最も基本的なプログラムとして、論理回路を動作させた。

2. PhysX による仮想物理世界

2.1 PhysX

PhysX [NVIDIA] とは、物理演算に特化した SDK ライブラリの総称であり、重力、弾力、摩擦力等の基本的な物理法則を再現することができる。GPU によるハードウェアアクセラレートに対応しており、浮動小数点演算などの物理演算を CPU から GPU が肩代わりする事でプログラムの動作スピードを上昇させることが可能となる。

2.2 PhysX の機能

本研究では、PhysX の機能のうち、主に「剛体モデル」「ジョイント機能」「ForceField」の 3 つの機能を利用している。剛体モデルは PhysX で扱うことの出来る物体モデルの 1 つである。形状を変更でき、複数組み合わせることで自由にモデリングすることが出来る。ジョイント機能は、2 つの物体を関連付けてワイヤーで繋ぐといった際に利用する機能である。また、ひとつの物体を 3 次元空間の座標に関連付けることもできる。さらに、パラメータを変更することによってバネの要素を付加することができる。

ForceField は、特定の座標に力場を発生させるものである。図 1 は ForceField を利用した一例である。立方体のエリアに上向きの ForceField を発生させた場合と、そうでない場合を比較する。ForceField がない場合は重力の作用を受けて配置された剛体は落下する。ForceField がある場合は、剛体は一度上昇し、Field のエリア外に達した後、下降する。

連絡先: 成見 哲, 電気通信大学 情報・通信工学専攻,
〒 182-8585 東京都調布市調布ケ丘 1-5-1, Tel:042-443-5340, Fax:042-443-5384, Mail: narumi@cs.uec.ac.jp

3. 機械式論理ゲート

判断能力を持った生物を作り出すためには、脳のような機能を持つ回路が必要である。そのための最も基礎的な構成要素として論理回路が必要であると考えられる。

現実世界では論理回路はトランジスタを使って電気的に実現される場合が多いが、PhysX による仮想物理世界で電気回路を実現することは難しい。そこで、外力を受けて動作する機械式論理ゲートを仮想物理世界で実現する。一般に機械式論理ゲートを多数動作させるには途中に何らかの増幅装置が必要であるが、ここでは ForceField を用いることで増幅装置の代わりとしている。

3.1 NAND ゲート

実現した機械式 NAND ゲートを図 2 に示す。図 3 に NAND ゲートを構成する部品を示す。青色の部品が入力ロッド、緑色の部品が出力ロッド、黒色の部品が部品を支える土台である。

通常、入力ロッドはばねの力により左側にあり、出力ロッドは ForceField の作用により上昇した状態を保っている。この状態を入力 0、出力 1 と解釈する (図 4 左上)。ロッドの上昇には ForceField による作用を利用している。入力ロッドに外力が加わり右側に移動した場合を入力 1 と解釈する (図 4 左下)。AB 両方の入力ロッドが右側に押され入力 1 の状態になると、出力ロッドが前方に押し出される。すると下方向の ForceField の作用により、出力ロッドは下降する。この状態を出力 0 と解釈する (図 4 右上)。

3.2 半加算器

NAND ゲートを組み合わせて構成した半加算器を図 5 に示す。NAND ゲートを回転させ、それぞれ組み合わせることで、NAND ゲートの出力が別の NAND ゲートの入力に作用するよう設計した。また、入力を生み出すスイッチ (図 6) と、入力結果をそのまま他の部品に伝える配線パーツ (図 7) を新たに設計し、回路に用いた。この回路では、入力スイッチ 2 個、配線パーツ 4 個、NAND ゲート 4 個を使用している。なお、この半加算器にはキャリーは搭載していない。

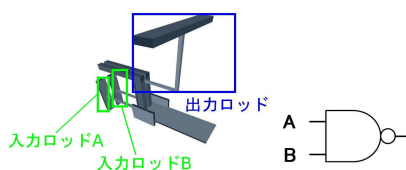


図 2: NAND ゲート

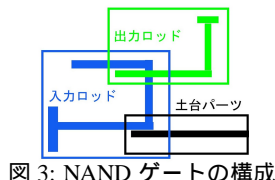


図 3: NAND ゲートの構成

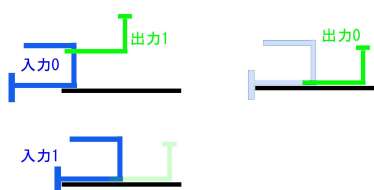


図 4: NAND ゲートの入出力状態

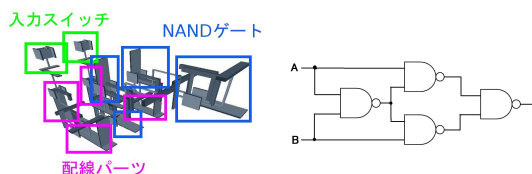


図 5: 半加算器



図 6: 入力スイッチ



図 7: 配線パーツ

3.3 リングオシレーター

さらに図 8 のようなリングオシレーターを設計した。NAND ゲートを 10 個、配線パーツを 2 個使用している。半加算器の回路を一部流用しているため、無駄な NAND ゲートが使われている。リングオシレーターとしての周期は wall clock で 126 秒であった。

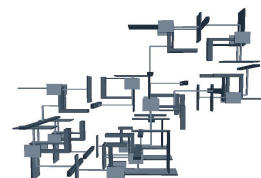


図 8: リングオシレーター

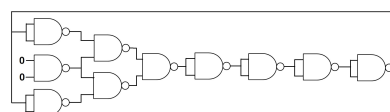


図 9: 回路図

4. まとめと今後の課題

仮想物理空間において PhysX の ForceField、ジョイント機能を用いて機械式 NAND ゲートを実現し、これを組み合わせることで半加算器やリングオシレーターを動作させることに成功した。しかし、リングオシレーターの周期が非常に長いことから、実用的な回路を実現するためには動作の高速化が不可欠である。また、ForceField の力加減が適切でないと回路が崩壊してしまうという問題があり、大規模化が実現出来ていない。

今後は、論理回路の動作で歩行を実現する等、論理と機能の一体化を目指す。今後より複雑な論理回路が動作すれば、複雑なプログラムに基づく人工生命も作り出すことが出来、環境との相互作用と組み合わせることでより生命らしい進化を模擬できる可能性がある。

参考文献

- [NVIDIA] PhysX, <http://developer.nvidia.com/object/physx.html>
- [中村 09] 中村啓太, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志: 仮想水中環境における人工生物の遊泳獲得, MYCOM2009(第 10 回 AI 若手の集い), pp. 27-30 (2009).
- [Microsoft] Microsoft Visual Simulation Environment <http://www.microsoft.com/robotics/>