

仮想物理世界で動く大規模論理回路の実現のための

立方体型ゲートの提案

A Cubic Logical Gate for Large-scale Logic Circuit on Virtual Kinematic Environment

神澤 俊[†]
Shun Kanzawa成見 哲[†]
Tetsu Narumi

1. はじめに

既存の人工生命の研究ではコンピュータ上に人工の環境を構築し、その中で生命モデルを動作させる手法が取られている。環境を複雑に定義することでライフゲームのような単純なルールの支配するシミュレーションでは実現できないような実験が可能になるが、生命モデルの人工知能(AI)は人工環境外に存在するプログラムであるため、あらかじめ定義された以上の動作を示すことは少ない。AIそのものを人工環境内で実装することで環境の影響を受けて予想外の動作が生まれる可能性がある。

一方で分子ロボティクス[5]という学術領域が存在する。分子の性質をプログラムすることで望みの動作をするロボットを作り上げようという試みであり、その中で DNA を用いて論理回路を設計しコンピュータを作る研究が行われている。従来のコンピュータが不得意とする分野で応用が期待されている一方で、解を出力するのに時間を要する、動作のコントロールが難しい、といった問題がある。コンピュータ上で DNA の挙動をシミュレーションすることでこれらの問題を解決できると考えられている。

上記2つの研究において、どちらも仮想的な物理環境内でコンピュータを設計しシミュレーションを行うことが求められている。そこで本研究では Unity[1]の提供する仮想物理世界上でコンピュータを構成する最も基本的な要素である論理回路を動作させた。

原らは PhysX[2]を用いて仮想物理世界を構築し、その中で力学的に動作する機械式 NAND ゲートを実装した[3]。また NAND ゲートを複数組み合わせることで半加算器とリングオシレータを動作させることに成功した。この動作実験から機械式論理回路には動作が遅い、壊れやすいという問題があり大規模な回路の実装は困難であることを示した。

瀬戸口らは Unity を用いて機械式 NAND ゲートの耐故障性・動作速度の向上を実現した[4]。また論理回路同士をつなぐ配線パーツとしても動作する立方体型 NAND ゲートの提案を行った。同時に剛体シミュレーションに最適化した物理演算プログラムを実装し、Unity の計算速度を上回ったことから物理エンジンを改良することで機械式論理回路の高速化が図れることを示した。

瀬戸口らの研究で提案された立方体型 NAND ゲートを配線パーツとして用いた場合、その構造上の問題から一部実装できない回路が存在する。本研究では立方体型 NAND ゲートの構造と動作を改良し、自身のみを組み合わせて任意の回路を実装可能な機械式論理回路を実現した。

[†] 電気通信大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering, The
University of Electro-Communications

2. Unity

Unity[1]とは統合開発環境を内蔵したゲームエンジンである。通常物理演算を行うには PhysX[2]などの物理エンジンを用いた複雑なプログラミングを行う必要があるが、Unity を用いると GUI 上で直感的に 3D モデルが配置でき、重力や摩擦力、衝突などの物理演算を自動で行えるため、本研究では Unity 上で論理回路を設計した。

また Unity で利用できる物理エンジンの機能として「トリガ」が存在する。これはセンサーと同様の働きをする機能で、指定した空間に物体が存在するとき任意の操作を行うことができる。本研究ではトリガを用いて論理回路の動作を実現している。

3. 既存の立方体型 NAND ゲート

3.1 実装

既存の立方体型 NAND ゲートを図 1 に示す。左右のパーツを入力面、下部中段の出っ張ったパーツを出力面と呼ぶ。出力面は反対側の面にも存在し、2 つの出力面は同様の動作をする。入力面は押し込まれた状態が 0、出っ張った状態が 1 であり、出力面は出っ張った状態が 0、引っ込んだ状態が 1 である。立方体型 NAND ゲートは外力を受けないとき図 1 の状態を取る。入力面と出力面が共に引っ張っているので入力も出力も 1 の状態を表す。立方体型 NAND ゲートの内部にはトリガが存在し、どちらかの入力面が外力を受けて押し込まれ入力面が 0 になるとトリガが反応して出力面を引っ込ませ出力を 1 にする。

3.2 問題点

NAND ゲートは表 1 のように動作するので、片方の入力面が 1 のときもう一方の入力面の反転した値が出力される。これは NOT ゲートと同様の動作である。NOT ゲートは偶数個つなげると元の入力と同じ値を出力するため配線パーツとして利用することができる。しかし、既存の立方体型 NAND ゲートはその構造上入力と垂直方向にしか出力できないので特定の 2 点間を配線しようとしたときに奇数個の

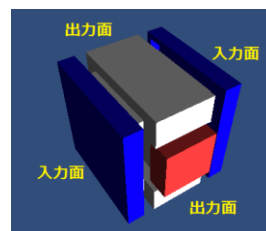


図 1 立方体型
NAND ゲート

立方体を使わなければ配線不可能な位置関係が存在する。例として図 2 の回路が挙げられる。図 2 の回路図を立方体型 NAND ゲートで実装すると図 3 のようになる。下段中央のパーツが図 2 の NAND ゲートとして機能し、他の 5 つのパーツは配線パーツとして用いている。NAND ゲートの出力面と 2 つの入力面を繋ぐパーツの数はどちらも 3 個なので値が反転しており配線パーツとして機能しない。図 3 はもっとも単純な実装例であるが、上述した構造上の問題からどのような設計であれ配線パーツの数は必ず奇数個になり、図 2 の回路は実現できない。

4. 提案する NAND ゲート

配線不可能な回路が生じないように、2 つの改良型ゲートを提案する。

4.1 射出型 NAND ゲート

出力面を論理回路から切り離して飛ばすことで遠方に出力を伝える射出型 NAND ゲートを実現した。これにより NAND ゲートを隣接して配置する必要がなくなり、すべての回路で配線パーツを偶数個用いた配線が可能になる。射出型 NAND ゲートを用いて図 2 を実装した例を図 4 に示す。配線パーツの使用数は片道 6 個で偶数個になっている。途中配線パーツ 1 個分間隔をあけて配置されているが出力面が飛び出すので配線が途切れることはない。ただし、飛び出した出力面の通る経路の途中で障害物があると正しく動作できないという問題がある。

4.2 立方体型 NAND/AND ゲート

出力面を 2 つ持つことを利用して片方は NAND 演算、もう一方は AND 演算の結果を出力する立方体型 NAND/AND ゲートを実現した。AND ゲートは片方の入力が 1 のときもう一方の入力の値をそのまま出力するため、配線パーツとして利用できる。これにより配線パーツの個数制限がなくなり、任意の回路を設計することが可能になる。立方体型 NAND/AND ゲートを用いて図 2 を実装した例を図 5 に示す。出力から入力までの配線パーツの数は 3 個だが、NAND の出力 2 個と AND の出力 1 個の組み合わせなので出力の値は反転することなく入力に接続されている。

表 1 NAND の真理値表

入力 A	入力 B	出力
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

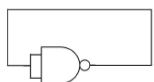


図 2 実現不可能な回路図

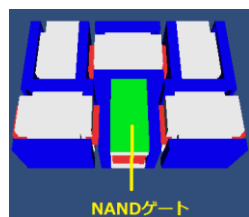


図 3 立方体型 NAND ゲート実装例

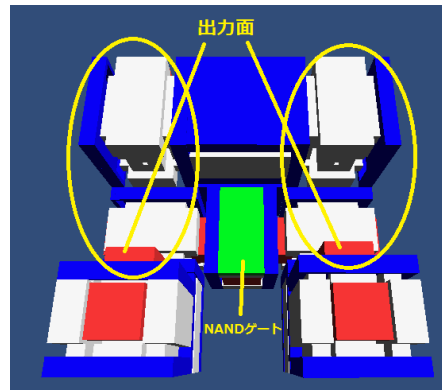


図 4 射出型 NAND ゲート実装例

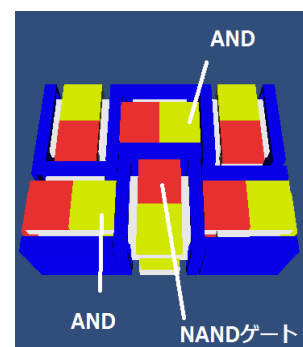


図 5 立方体型 NAND/AND ゲート実装例

5. おわりに

既存の立方体型 NAND ゲートには実装できる回路に制限があることを指摘し、構造面と動作面からこの問題を解決した機械式論理回路を提案し Unity 上で実装した。これを用いて立方体型 NAND ゲートでは実現不可能な回路を実装し自由に回路設計が行えることを示した。

しかし、論理回路が空間に固定されるという問題点は解決できておらず、自由に動き回る人工生命の部品として用いることは難しい。また論理回路間に互いに引き付け合う力を発生させ、環境の影響を受けて偶発的に回路が組みあがる仕組みを作る予定である。このような改良により自然発生した様々な回路の動作を観察することで生命の誕生に関する新たな発見が得られる可能性がある。

参考文献

- [1] Unity – Game Engine <http://japan.unity3d.com/>
- [2] PhysX <http://developer.nvidia.com/object/physx.html>
- [3] 原健一郎, 成見哲, “高性能計算を用いた人工生命の研究”, 2012 年度人工知能学会全国大会(第 26 回), 2M2-1, 2012
- [4] 瀬戸口幸寿, 成見哲, “仮想物理世界で動く論理回路の実装”, 2014 年度人工知能学会全国大会(第 28 回), 3O1-11in, 2014
- [5] 萩谷昌己, 西川明男『DNA ロボット-生命のしかけで創る分子機械』(岩波書店 2008)