

仮想物理世界で歩く論理回路の実現

情報・通信工学専攻 CS コース 成見研究室 1331032 神澤 俊

1 はじめに

近年、人工生命の研究ではコンピュータ内で仮想環境を構築し、その中で生命モデルを動作させる手法が取られている。梅村らは仮想環境下にバッタモデルと壁を配置し跳躍を繰り返して学習することで壁を飛び越える跳躍を獲得させているが [1]、この手法の生命モデルの AI は仮想環境外に存在するプログラムであるため、最終的に一定の行動を獲得すると考えられる。AI そのものを仮想環境内で実装すれば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という学術領域が存在する [2]。分子によるプログラムを可能に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。コンピュータ上で DNA の挙動をシミュレーションして分子反応の様子を解析することで研究が発展すると考えられる。

瀬戸口らはゲームエンジン「Unity」を用いて人工生命や分子ロボットの構成要素となる論理回路を仮想物理世界で動作させた [3]。本研究ではこの論理回路を改良して自律的に歩く回路の実現を目指す。将来的に回路を大規模化して AI を搭載した人工生命を実現したり、論理回路を基に分子モデルを作って置き換えることで分子ロボットのシミュレーションをすることが可能になると考えられる。

2 実現した回路

2.1 概要

瀬戸口らは力学的に動作する箱型 NAND ゲートと立方体型 NAND ゲートを実装した。立方体型 NAND ゲートは配線パーツとしても機能するよう設計されたが構造上の問題で実装不可能な回路が存在した。また空間に固定しないとゲートが移動してしまう問題があった。本研究ではこれらの問題を解決した立方体型 NAND/AND ゲートと回路を歩行させるための足パーツを実装し、歩く回路を実現した。

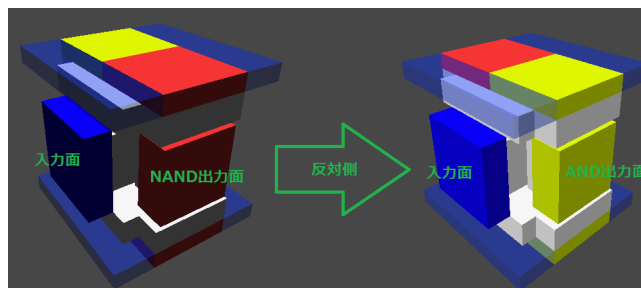


図 1 立方体型 NAND/AND ゲート

2.2 立方体型 NAND/AND ゲート

立方体型 NAND/AND ゲートを図 1 に示す。青色のパーツを入力面、赤色のパーツを NAND 出力面、黄色のパーツを AND 出力面と呼称する。入出力面は引っ込んだ状態と出っ張った状態で 0/1 の値を表現する。ゲートの動作を表 1 にまとめた。

入出力面は Unity のマーカーで動作を制御している。入力面は出っ張った位置にマーカーを持ち、マーカーから離れるとマーカーに向かう力が働く。出力面は出っ張った位置と引っこんだ位置にマーカーを持ち、常にどちらかのマーカーに向かう力が働く。ゲート内部にあるセンサーが入力面の位置を検知してどちらのマーカーに向かうか決定する。これにより論理演算を実現しており、複数のゲートの出力面と入力面を接続することで回路を実装できる。

入力面は他の物体に押し込まれない限り出っ張った状態（値が 1 の状態）を保つ。入力面 A が 1 のとき NAND 出力面は入力面 B の値を反転した値を、AND 出力面は入力面 B の値をそのまま出力するため、片方の入力面だけ使えば値を伝達する配線パーツとして利用できる。例として図 2 のリングオシレータを設計した様子を図 3 に示す。図 3 の配線パーツも論理作用素として表現すると回路図は図 4 の様になる。先行研究で実装されたゲートは AND 出力面が無く両方 NAND 出力面だったためこのような回路は実装できなかった。

2.3 歩く回路

現段階では 1 種類のゲートだけで歩く機能を実現するのは難しいので、専用の足パーツも用いて歩く回路を実

表 1 立方体型 NAND/AND ゲートの動作

入力面 A	入力面 B	NAND 出力面	AND 出力面
0(引っ込み)	0(引っ込み)	1(引っ込み)	0(出っ張り)
0(引っ込み)	1(出っ張り)	1(引っ込み)	0(出っ張り)
1(出っ張り)	0(引っ込み)	1(引っ込み)	0(出っ張り)
1(出っ張り)	1(出っ張り)	0(出っ張り)	1(引っ込み)



図 2 リングオシレータ回路図

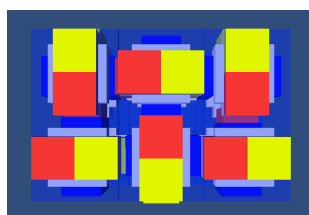


図 3 リングオシレータ実装例

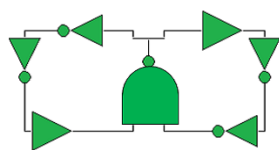


図 4 リングオシレータ実装例の回路図

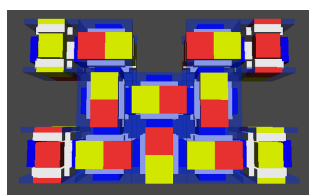


図 5 歩く回路上面

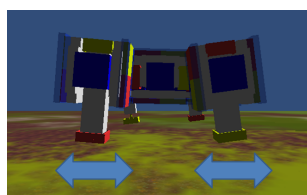


図 6 歩く回路が歩く様子

装した。上から見た様子を図 5 に示す。図 3 を基にして足パーツを四隅に接続した回路になっている。

足パーツはゲートの一方の出力面を伸ばして伸び縮みする足を表現したものである。また出力面の動作と共に足パーツごと前後に傾く機能を持つ。つまり足パーツは入力の値により出力面を伸ばして前から後ろへ傾くか、足を縮めて後ろから前に戻る動作をする。出力される値が反転し続けるリングオシレータに接続することで定期的に入力を変化させ、足の前後運動を繰り返して歩く機能を実現した。ただし厳密に制御しているわけではないので、足パーツが動いている途中で入力が変わったり他の足パーツと入力が変わるタイミングがずれて歩みが止まることがある。実際に歩いている様子を図 6 に示す。

3 評価

立方体型 NAND/AND ゲートと先行研究で実装された箱型 NAND ゲート、立方体型 NAND ゲートの動作速度を比較した。それぞれのゲートで半加算器を実装し、

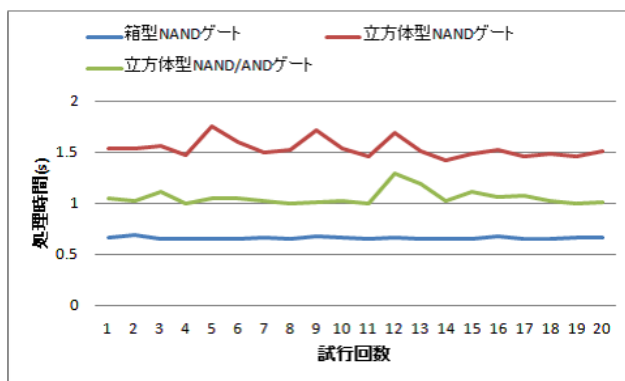


図 7 計測結果

入力を与えてから演算結果が出力されるまでの処理時間を計測した。計測結果を図 7 に示す。処理時間の平均値は箱型 NAND ゲートが 0.6 秒、立方体型 NAND ゲートが 1.5 秒、立方体型 NAND/AND ゲートが 1.0 秒だった。箱型は配線パーツ 1 個で接続できるのに対して立方体型は複数のゲートを用いるのでその分情報伝達に時間がかかっている。また立方体型 NAND/AND ゲートの処理時間が立方体型 NAND ゲートより短いのは AND の出力を利用して経由するゲート数を減らすことができるからである。

4 まとめと今後の課題

既存の論理回路を発展させて配線パーツとして利用可能かつ移動可能な論理回路を実装した。論理回路と足パーツを用いて歩く回路を実現し、将来的にセンサーやマイコンを備えた人工生命を作成できる可能性を示した。また半加算器の処理時間の比較を行い既存の論理回路より高速に動作することを確認した。

今回実現した歩く回路は足を実装するために専用の足パーツを用いている。足の形状や動作、制御などを全て論理回路だけで実現した回路を作ることが今後の課題である。

参考文献

- [1] 梅村祐太, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, バッタモデルの目標高さに応じた跳躍動作の獲得, 精密工学会学術講演会講演論文集 2012A(0), pp.447-448, 2012.
- [2] 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.
- [3] 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.