

物理的連鎖運動を用いた論理回路学習教材の試作

南雲 秀雄[†]

新潟青陵大学[†]

1 はじめに

論理回路の導入教育においては、電球とスイッチのモデルを使って AND, OR, および NOT 回路を説明する場合が多い。しかし、このモデルでは、入力と出力の現象が異なるため、一つの回路の出力を別の回路の入力に繋げてより複雑な回路を構成することができない。

そこで本研究では、物理的連鎖運動を用いて論理回路のモデルを作ることを提案する。物理的連鎖運動としては、ドミノ倒しや、転がる小球が別の小球に衝突する運動を用いることができる。このモデルを用いると、AND, OR, NOT の基本回路を繋げて、より複雑な XOR 回路、半加算器、全加算器、複数ビットの加算器等を作成してその動作を確かめることができる。

2 提案する論理回路の動作原理

本研究で提案するのは、物が倒れたり、転がるものが連鎖する運動を利用して論理回路を作成することである。本稿では、例としてドミノ倒しの連鎖運動[1]と、小球が溝に沿って転がり、別の小球にぶつかって動かす連鎖運動を取り上げる。

いずれの場合も、入力は連鎖運動の道筋にある入力の位置にドミノや小球が置かれていて、それを介して連鎖運動が繋がる状態になっていれば TRUE であり、置かれていずに、連鎖運動がそこで止まってしまう状態であれば FALSE である。また出力は、終点の位置まで連鎖運動が到達すれば TRUE、到達しなければ FALSE とする。

回路は、入力を含む連鎖運動に関わるドミノや小球を所定の位置に配置し、始点から連鎖運動を開始することで動作する。

連続的なエネルギーの供給が無いこの回路では、組み合わせ回路を作ることはできるが、順序回路を作ることはできない。また、複雑な回路を作ったとき、高い確率で正しい結果が出るように安定性を持たせることが重要になる。

3 論理回路の作成例

物理的連鎖運動を用いた論理回路の作成例をいくつか示す。下記の、小球による論理回路では、ボードが上から下に約 30 度傾けてある。

3.1 OR ゲート

図 1 に二入力の OR ゲートを示す。左側がドミノによるもの、右側が小球によるものである。いずれの場合も、1 の位置が始点、2, 3 の位置が入力、6 の位置が出力である。

ドミノのゲートでは、4 または 5 のいずれかのドミノが倒れれば、6 のドミノも倒れる。小球のゲートでは、2 または 3 のいずれかの小球が転がれば、5 の小球にぶつかり、それが 6 の位地に到達する。

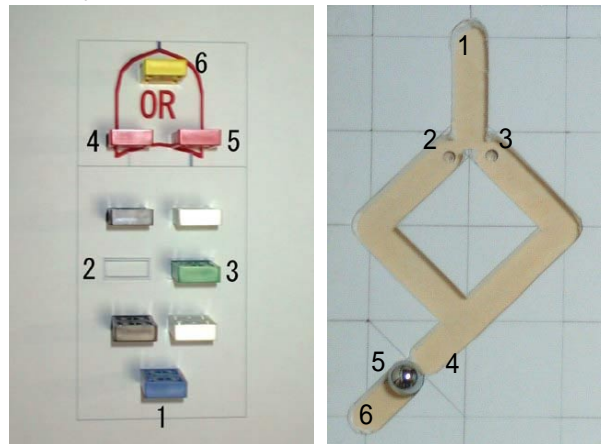


図 1: OR ゲート (左: ドミノ, 右: 小球)

3.2 AND ゲート

図 2 に二入力の AND ゲートを示す。左側がドミノによるもの、右側が小球によるものである。いずれの場合も、1 の位置が始点、2, 3 の位置が入力、7 の位置が出力である。

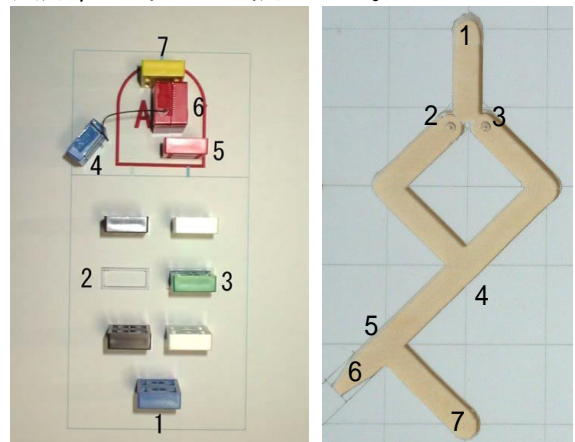


図 2: AND ゲート (左: ドミノ, 右: 小球)

ドミノのゲートでは、6 の二枚重なったドミノが 5 のドミノの転倒を妨げるが、糸で繋がれているため、4 のドミノが倒れると一緒に倒れて、

5 のドミノの転倒を妨げなくなる。従って、2 と 3 の両方の位置にドミノが立っている場合だけ、7 のドミノが倒れることになる。

小球のゲートでは、1 の始点から転がった小球が 2 と 3 の位置の小球にぶつかって動かす。これらのいずれも 4 の位置を通過し 5 の位置に達するが、最初の小球は 6 の位置に捕獲されて 7 の位置まで到達しない、しかし、2 つ目の小球は 5 の位置で右下に折れ、7 の位置に到達する。

3.3 NOT ゲート

図 3 に NOT ゲートを示す。上がドミノによるもの、下が小球によるものである。いずれの場合も 1 の位地が始点、2 の位置が入力、3 の位置が出力である。

ドミノのゲートでは、2 の二枚重なったドミノが倒れていると、右側からのドミノの転倒が妨げられ、3 のドミノが倒れない。小球のゲートでは、2 の位地に小球が収まっていると、1 の位地から転がった小球がそこで止まり、3 の位地に到達しない。

いずれの場合も、始点をもう一つの入力と考えると、片方の入力に NOT ゲートがついた二入力 AND ゲートと解釈することができる。

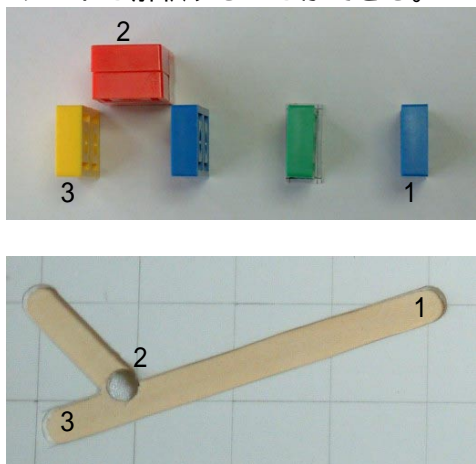


図 3：NOT ゲート（上：ドミノ，下：小球）

3.4 XOR 回路

上記 3 つの基本ゲートを組み合わせると、より複雑な回路を作ることができるが、図 4 に小球による XOR 回路の例を示す。

この図では、1 の位地が始点、2 と 3 の位置が入力、7 の位地が出力である。ゲートに分けると、4 の部分が AND ゲート、5 の部分が OR ゲート、6 の部分が、否定入力付きの AND ゲートである。

さらに複雑な加算器等も同様にして組み立てることができる。

4 評価

短期大学人間総合学科 1 年生の情報処理論の授業 1 回において、小球による論理回路 (OR ゲ

ート, AND ゲート, NOT ゲート, XOR 回路, 3 ビットの加算器) の動作を動画として提示し、その後学生にアンケートを行った。その結果を表 1 に示す。学生からは概ね好意的な評価が得られている。

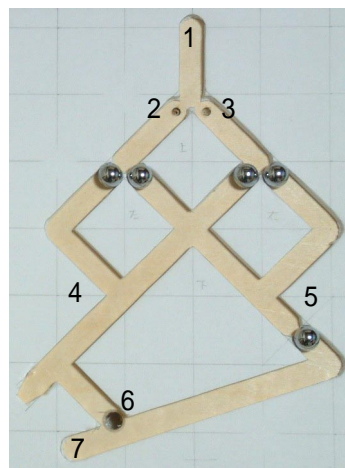


図 4：XOR 回路（小球）

表 1：学生からの評価 (n=234)

小球による論理回路を見て面白かったか		
非常に面白かった：20%	ある程度面白かった：66%	面白くなかった：14%
論理回路について理解できたか		
良く理解できなかった：9%	ある程度理解できた：70%	理解できなかった：21%
コンピュータの内部での 2 進数を使った足し算の仕組みが分かったか		
良く理解できなかった：48%	ある程度理解できた：46%	理解できなかった：6%
小球による論理回路は、論理回路を理解するのに役立ったと思うか		
非常に役立たなかった：16%	ある程度役立った：70%	役に立たなかった：14%
小球による論理回路は、コンピュータの内部での 2 進数を使った足し算の仕組みを理解するのに役立ったと思うか		
非常に役立たなかった：17%	ある程度役立った：65%	役に立たなかった：18%

5 おわりに

本稿では、ドミノ倒しや小球が転がる等の物理的連鎖運動を用いた論理回路の作成方法を示し、さらに、作成した論理回路の動作を動画で提示したときの学生の評価を示した。

今後は学生が自ら論理回路を操作することや作成することができるよう工夫したい。

参考文献

[1] 南雲秀雄, 川島章弘, “ドミノを用いた論理回路学習教材”, 日本産業技術教育学会第 42 回全国大会講演要旨集, p81, 1999