

Conway's game of life report

第五組B103040012 謝承翰

October 2022

1 摘要

康威生命遊戲由英國數學家John Horton Conway發明，刊登在1970年Scientific American的數學遊戲專欄。康威生命遊戲不需要任何玩家，只需要給予初始條件，遊戲就可以不斷進行。生命遊戲最吸引人的地方在於，各種意想不到的演化過程，而演化過程則是由不斷變動的圖案所組成，這些圖案有些是人為創造，有些則是意外產生的造物。

而更令人意外的事，生命遊戲是一種universal Turing machine，這相當賦予了生命遊戲幾近無窮的可能，在本報告中，會解釋為何生命遊戲是一種universal Turing machine。

2 前言簡介

universal Turing machine有一個重要的特性：對於任意輸入，它都可以模擬出任意Turing machine的輸出，簡單一點就是universal Turing machine可以模擬出其他任意的Turing machine行為。

雖然因為記憶體的限制，現今電腦並不能說是符合數學定義的Turing machine，但撇除這過於理想的定義，現今電腦仍滿足Turing machine的其他定義。而本報告的模擬目標就是現今電腦最基礎的結構，邏輯閘，只要可以模擬出基本邏輯閘的行為，就確定可以模擬出基礎元件，例如:Latch、Flip-Flop、ALU、CU。現今電腦就是由這些基礎元件層層堆疊而成。

總的來說，要確定一個系統是不是universal Turing machine，只要確認這個系統能不能模擬基本邏輯閘即可。

3 相關研究

Paul Rendell在2011年就實際建出Turing machine[1]，不過不是用邏輯閘實現，而是用各式glider gun變體實現，比起本報告的實現方式更緊湊、效率更高，但是相對不直觀。

4 程式設計方式

這篇研究選擇的程式語言是python，因為其實現GUI非常方便，開發的效率也很高。

以下將介紹基礎邏輯閘，NOT/AND/OR在生命遊戲中的實現方式。

4.1 signal

在實現邏輯閘前，要先定義信號，也就是數位系統的高電位，信號通常用glider表達。

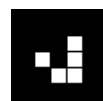


Figure 1: a glider

glider有個特性，只要角度正確，兩個glider相撞後會互相消滅。

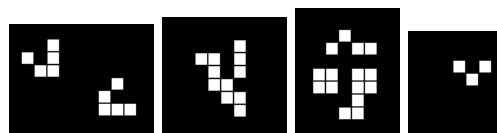


Figure 2: the process of two gliders hit

這個特性對於接下來實作邏輯閘非常有用。

4.2 signal generator(glider gun)

signal generator類似於電路中的“電源”，會不斷產生signal。這裡用的signal generator是一種非常基礎的結構，Gosper glider gun，如同其名，這個結構會不斷發射出glider。

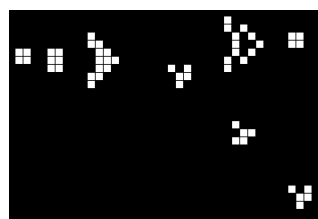


Figure 3: Gosper glider gun shooting

4.3 NOT logic gate

生命遊戲中的not logic gate有一個輸入位、一個輸出位以及一個Gosper glider gun，因為glider的特性，當輸入位有signal輸入時，右邊Gosper glider gun產生的glider會與輸入位的glider互相消滅，結果就是沒有輸出。當輸入位沒有signal輸入時，右邊Gosper glider gun產生的glider就不會消失，輸出位就會有signal。

這個行為就與現實中的not logic gate相同。



Figure 4: Gosper glider gun at its initial state

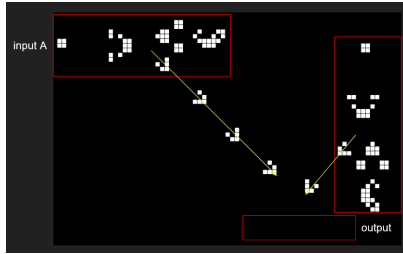


Figure 5: not logic gate

4.4 AND logic gate

And logic gate有兩個輸入位、一個輸出位以及一個Gosper glider gun，同樣因為glider的特性，當輸入位A與B只有一個有signal的話，輸入的glider就會被右邊產生的glider消滅，當兩個輸入位都有signal的話，只有一個輸入位的glider會被右邊產生的glider消滅，讓輸出位有signal。

若兩個輸入位都無signal，右邊產生的glider必須要被“吃掉”才不會進到輸出位，所以這裡有一個小結構叫glider eater，如其名，它就是來把glider吃掉的，glider只要用正確的角度撞上，就會被消滅，且glider eater不會消失。

這行為與現實中的and logic gate一樣。

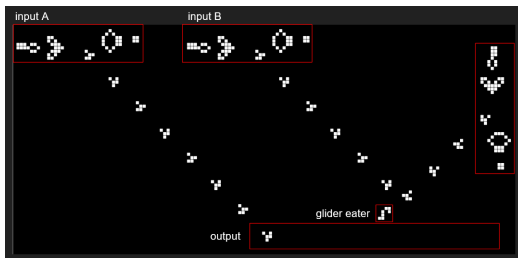


Figure 6: and logic gate

4.5 OR logic gate

Or logic gate有兩個輸入位、一個輸出位以及兩個Gosper glider gun，當輸入位A與B只有一個有signal的話，右邊產生的glider會被消滅，讓左邊產生的glider跑到輸出位；當兩個輸入位都有signal的話，右邊產生的glider也會被消滅，輸出位就有signal，但要注意輸入位A的glider是多餘的，所以要放一個glider eater。

若兩個輸入位都無signal，左邊產生的glider會與右邊產生的glider互相消滅，所以輸出位就不會有signal。

這行為與現實中的or logic gate一樣。

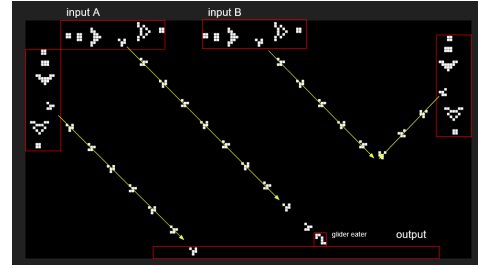


Figure 7: or logic gate

5 結論

由上述的結果可以知道，康威生命遊戲確實可以模擬出NOT/AND/OR邏輯閘行為，雖然設計的效率極低、設計出的結構極度複雜且對於初始狀態的要求非常苛刻，但也代表生命遊戲是一universal Turing machine，同時也暗示著，我們可以生命遊戲中設計一個生命遊戲，這符合universal Turing machine的特性，也就是可以模擬其自身。

6 參考文獻

References

- [1] A Turing Machine In Conway's Game Life.(2011) Paul Rendell
- [2] This is a Turing Machine implemented in Conway's Game of Life., <http://rendell-attic.org/gol/tm.htm>
- [3] Life Universal Computer, <http://www.igblan.free-online.co.uk/igblan/ca/>