基本回路の設計

浅川伸一 <asakawa@twcu.ac.jp>

本節では、基本的な論理回路と簡単な記憶回路を神経回路網で構成する方法を考えてみます。シリコンウェハ上に構成される論理回路をニューロン素子でも実現できることを示し以下に引用したウィーナーの言葉を裏付ける根拠を示すことにします。

> 人間の感情と、他の生物のそれと、近代的な型の自動機械の反応との間に鋭い乗り越えられない区画線を引く心理学者は、私が私自身の主張に慎重でなければならないのと同様に、私の説を否定するのに慎重でなければならない
>
> — N. Wiener, The Human Use of Human Beings(人間機械論, みすず書房, p.73) —

1 AND 回路

2 入力 1 出力の回路において、2 つの入力が共に真であるときのみ真を出力し、そうでなければ偽となる論理演算である論理積 (AND) を考えます。論理積は引数を 2 つとる演算であり、出力を y とすれば $y = f(x_1, x_2)$ のように書くことができます。x_1, x_2 ともに 1 または 0 の値をとるものとすれば、y が 1 であるためには $x_1 = 1$ かつ $x_2 = 1$ でなければなりません (図 1)。

出力	入　力	
y	x_1	x_2
0	0	0
0	0	1
0	1	0
1	1	1

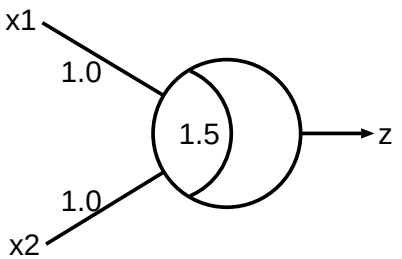

Figure 1: 論理積 AND の真偽表 (左) と等価な演算を実行可能な形式ニューロン (右)。右図では x_1, x_2 の 2 つの入力が共に 1 でなければ閾値 1.5 を越えることがありません。従ってこのニューロンは 2 つの入力が無ければ発火できません。

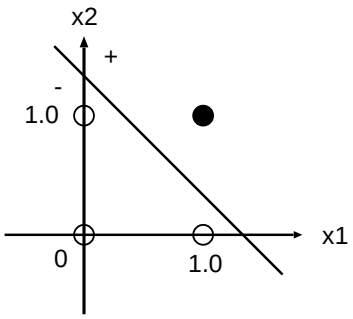

Figure 2: 図 1 と等価な幾何学的表現 $y \geq x_1 + x2 - 1.5$。2 次元平面を 2 領域に分割し、一方を発火する領域 (+)、他方をしない領域 (-) に分割することに等しい。このような分割の仕方は無限に存在することに注意。

この素子がマッカロック・ピッツの形式ニューロンで表せるとすれば、2 つの入力の総和が閾値を越えれば発火し、そうでなければ発火しない素子を考えていることと等価です。

2 NOT 回路

同様に図 3 は否定 (NOT) 演算であす。入力があれば ($x = 1$ のとき) かならず負の結合荷重 (-1.0) によって閾値 (0.5) を下回るので、このニューロンは発火できなくなります。

出力	入力
y	x
1	0
0	1

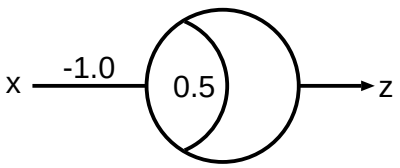

Figure 3: 否定 NOT 演算と等価なニューロン

3 簡単な記憶回路 — フリップフラップ回路 —

上記の AND 素子と NOT 素子とを繋いで簡単な回路を作ってみます。図 4 で各素子は 1 か 0 かを値として取りうる形式ニューロンだとします。今、入力 x と入力 y とが共に 1 であれば $A = 1, B = 0$ あるいは $A = 0, B = 1$ のときだけこの回路は安定です。ここで $x = 0, y = 1$ とすると $A = 0, B = 1$ の状態になり、 $x = 1, y = 0$ とすると $A = 1, B = 0$ の状態になります。し

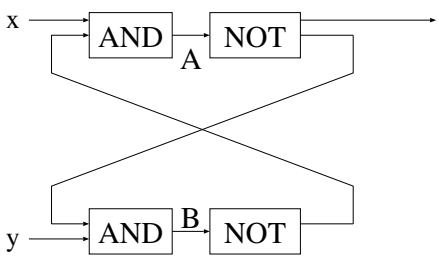

Figure 4: フリップフラップ回路の一例

かも、この状態は $x = y = 1$ に入力を戻しても保存されています。これは 1 ビットの記憶回路でありフリップフラップ回路 (flip-flop circuit) と呼ばれています。このことは AND と NOT を実現できる神経回路素子があれば記憶回路を作ることができることを示しています。しかも工学的に実現されている回路と完全に等価です。フリップフロップ回路を 16 個または 32 個まとめてレジスタ (register) と呼びますが、市販されている PC の CPU の性能を指して 16 ビットマシンとか 32 ビットマシンとか呼ぶのは、このレジスタの大きさ (記憶装置への基本的な入出力単位の基本でもある) によるのです。一般にコンピュータの速度はこのフリップフラップ回路が安定するまでの時間に大きく依存します。なぜなら、コンピュータの基本動作は原理的に、上述のフリップフラップ回路が安定するのを待って、次の命令をレジスタに読み込むことの繰り返しだからです。