

Le neurone de Mc Culloch et Pitts

Adapté des travaux du groupement de recherche « the Mind Project » Illinois State University.

L'étude des neurones de McCulloch et Pitts est instructif à plus d'un titre : c'est la toute première pierre (le premier neurone artificiel) de ce qui est en train de devenir un impressionnant dispositif de programmation (les réseaux de neurones artificiels). Par ailleurs cela nous permet d'avoir un aperçu du rôle de la logique et des mathématiques dans l'étude du cerveau.

Pour mieux comprendre le neurone de Mc Culloch et Pitts (MCP) prenons un exemple.

Supposons qu'il existe, dans le cerveau d'un oiseau artificiel, un neurone artificiel qui possède deux récepteurs connectés aux yeux de l'oiseau.

Si l'oiseau voit un objet rond, alors un signal est envoyé au premier récepteur du neurone, mais si un objet de n'importe quelle autre forme est vu, aucun signal n'est envoyé à ce récepteur. De même, il existe un récepteur pour la couleur violette.

Ainsi, Le récepteur 1 détecte la forme ronde, le récepteur 2 détecte la couleur violette.

Propriété « tout ou rien » (all or none) du neurone

Chaque récepteur prend en charge une question et n'envoie de signal au neurone MCP que si la réponse à cette question est oui (dans ce qui suit, on parlera de manière équivalente d'un signal « non » et d'une absence de signal). Le récepteur 1 répond à la question 'l'objet est-il rond'? Le récepteur 2 répond à la question 'l'objet est-il violet' ?

Le MCP reçoit les signaux des récepteurs et contrôle le comportement alimentaire de l'oiseau qui ne mangera l'objet que si le MCP lui envoie à son tour un signal. Le MCP prend en charge la question 'faut-il manger l'objet?' Il n'envoie un signal à l'oiseau que si la réponse à cette question est oui.

Signaux entrants d'un neurone MCP

Exercice 1

On voudrait concevoir un neurone de MCP qui dicte à l'oiseau de manger des myrtilles et de ne pas manger, par exemple, de fruits rouges ou de violettes. (note : une myrtille est ronde et violette !).

Afin de représenter le comportement de l'oiseau devant divers objets, complétez le tableau 1.

Considérez que les questions correspondent à des propositions logiques et les réponses à leurs valeurs de vérité. Exemple : « l'objet est rond » a pour valeur de vérité possible 0/1 (pour vrai/faux).

Objet	Violet	Rond	Manger
Myrtille	1	1	1
Balle de golf	0	1	0
Violette	1	0	0
Croque Mr	0	0	0

Remarquez que tous les signaux reçus par le MCP et les signaux envoyés par lui sont soit « oui », soit « non » (1 ou 0).

Cette propriété « tout ou rien » « all or none » est une hypothèse formée par McCulloch et Pitts sur la manière [caractéristique] dont fonctionne un vrai neurone.

Sommatation des signaux entrants :

McCulloch et Pitts ont fait une autre supposition : le neurone devra faire une sorte de somme des signaux qu'il reçoit et décider s'il renvoie un signal 'oui' ou un signal 'non' en fonction du total des signaux reçus.

Il s'agit pour le MCP de décider si le total des signaux reçus est suffisamment élevé pour envoyer un signal « oui ». McCulloch et Pitts ont fait appel à la notion de seuil (threshold).

Seuil de déclenchement de l'excitation du neurone

Chaque neurone a son propre seuil qu'il devra comparer à la somme des signaux qu'il aura reçus.

Si la somme est supérieure ou égale à son seuil, alors il enverra le signal 1 (ie un signal 'oui') si la somme est inférieure au seuil, il renverra 0 (ie un signal 'non').

Ainsi, il s'agit pour le MCP de répondre à la question « la somme des signaux que je reçois est-elle \geq à mon seuil ? ».

Pour mieux comprendre comment le seuil fonctionne résolvez l'exercice 2.

Exercice 2.

1. Afin que l'oiseau adopte le comportement décrit dans l'énoncé de l'exercice 1, déterminez le seuil s adéquat puis complétez le tableau ci-dessous.

2. Décrivez le comportement de l'oiseau si le seuil est abaissé de 1, puis de 2.

Object	violet	rond	total	$\geq s$ (avec $s = ?$)	manger
myrtille	1	1	2	1	1
Balle de golf	0	1	1	0	0
violette	1	0	1	0	0
Croque Mr	0	0	0	0	0

Fonctionnement de base du neurone de MCP

Résumé

Le comportement de l'oiseau artificiel dépend (1) Du *l'input* qu'il reçoit des *récepteurs* qui le renseignent sur son environnement ('sensoriels'), (2) Du propre *seuil* du MCP pour déclencher l'envoi d'un signal 1.

Les détecteurs d'un neurone peuvent être vus comme s'ils *scannaient* des propriétés particulières de l'environnement.

Une fois combiné (somme), l'input qui parvient au neurone sera soit *seuil* soit *au* de déclenchement du signal 1, ce qui dépendra du nombre de propriétés détectées par les 'capteurs sensoriels'.

Signaux inhibiteurs d'un neurone MCP

Les signaux envoyés au MCP par les récepteurs sensoriels que l'on vient de voir sont de type excitateur. Plus le MCP reçoit de signaux excitateurs plus il se rapproche de son seuil. Il existe un autre type de signaux dits inhibiteurs car ils ont l'effet inverse des signaux excitateurs. Si un neurone reçoit un signal inhibiteur, il est moins excité et il faudra donc qu'il reçoive plus de signaux excitateurs pour atteindre son seuil. Ainsi, les signaux inhibiteurs se soustraient de la somme des signaux et éloignent le neurone de son seuil.

Considérons un oiseau artificiel qui serait une sorte de rouge-gorge. Supposons que cet oiseau soit en sécurité en présence de toute créature rouge, y compris des créatures telles qu'un cardinal. Cet oiseau devra fuir devant les créatures non rouges de son environnement. Autrement dit, l'oiseau doit toujours fuir devant une créature, sauf si elle est rouge. Le récepteur 1 détecte toute créature et envoie un signal excitateur au MCP destiné à provoquer la fuite de l'oiseau. Cependant, si l'oiseau est en présence d'une créature rouge, il ne sera pas en danger et ne devra pas fuir. Le récepteur 2 détecte toute créature rouge et envoie un signal inhibiteur au MCP destiné à empêcher la fuite de l'oiseau.

Supposons que le rouge-gorge voie un chat noir. Le récepteur 1 enverra un signal excitateur au MCP et le récepteur 2 n'enverra aucun signal, donc l'oiseau fuira.

Supposons que le rouge-gorge voie un cardinal. Le récepteur 1 enverra un signal excitateur et le récepteur 2 un signal inhibiteur. L'oiseau ne fuira pas car le signal inhibiteur aura annulé le signal excitateur.

Si quel inhibiteur = dans si

Objet	Créature	Rouge	Fuir
Chat noir	1	0	1
Cardinal	1	1	0
Croque Mr.	0	0	0

Nous ne verrons pas plus en détail le neurone de MCP mais ajoutons que le principe du seuil est identique au cas simple vu ci-dessus. Si le total des signaux (excitateurs et inhibiteurs) est supérieur au seuil du neurone, celui-ci enverra un signal à l'oiseau pour fuir.

```

public class NeuroneMCP {
    private List<Integer> signaux;
    private int seuil;
    public NeuroneMCP (... ) { ... }

    public boolean compute () {
        int somme = 0;
        for (Integer i : signaux) {
            somme += i;
        }
        return i <= seuil;
    }
}

```