

AFSCET

Res-Systemica

Revue Française de Systémique
Fondée par Evelyne Andreewsky

Volume 19, automne 2019

Systemique du signe et du sens

Res-Systemica, volume 19, article 04

Perception cybernétique du signe

Olivier Maurice

5 pages

contribution reçue le 22 septembre 2019



Creative Commons

Perception cybernétique du signe

Olivier MAURICE

September 22, 2019

1 Introduction - résumé

L'objet de cet article est de faire un synthèse non exhaustive des techniques de perception embarquées dans les systèmes cybernétiques. Nous abordons les capacités des capteurs artificiels pour ensuite discuter de la gestion temps réel de ces capteurs. Se pose alors le problème de l'interprétation des informations issues de ces capteurs puis des perturbations qui peuvent altérer ces informations. Nous concluons par une prospective des techniques futures de perceptions et de l'évolution associée de l'électronique et sur l'évolution potentielle de la reconnaissance cybernétique du signe.

2 Quelle capacité de perception ?

Les capteurs sont sensibles à divers types de signaux, couvrant de large bande de fréquences radioélectriques, acoustiques, chimiques voire même percevant des ondes de gravité. Des progrès continus sont observés dans les capacités de perception des capteurs artificiels. Certes dans de nombreux domaines, ces capacités sont loin d'atteindre celles des capteurs naturels et dans de très nombreux cas leurs volumes sont beaucoup plus importants que ceux des capteurs biologiques. Deux problèmes se posent : pouvoir percevoir les signaux visés qui peuvent être très ténus ou sous des formes non triviales à capter (molécules, particules, ondes électromagnétiques) et pouvoir ensuite coder l'information captée pour la transmettre à un processeur et l'exploiter.

Il est clair que la miniaturisation croissante des électroniques est une facette majeur des progrès réalisés. Nous pouvons déjà remarquer que des domaines font exception où les capteurs artificiels peuvent être plus performants que les capteurs similaires du monde naturel: la perception visuelle par exemple, parfois sous la condition d'emploi de moyens gigantesques, pensons à l'astronomie. Pour une excitation \mathbf{J} dans l'environnement d'un capteur, ce dernier peut être vu comme un opérateur z - éventuellement quantique - qui donne en réponse à cette excitation une valeur accessible par une électronique e . Nous écrivons synthétiquement $e = z \cdot \mathbf{J}$, indiquant que z appliqué à \mathbf{J} engendre la valeur mesurée e .

3 Quelle attention à quel événement ?

Depuis les premiers automatismes mécaniques, l'électronique s'est embarquée pour créer les premiers robots, principalement industriels, permettant d'optimiser

des gestuelles de montages, ou de réaliser des actions en milieux hostiles. Les capacités d'adaptation de ces robots ont augmentés régulièrement pour conduire aux systèmes cyberphysiques où informatique en réseaux et intelligence artificielle se mêlent profondément à l'électroniques regroupant de nombreux capteurs et actionneurs. Les missions prises en charge par ces nouveaux robots sont de plus en plus compliquées (mais non complexes) et incorporent des actions de décisions sur la trajectoire, de report d'actions et d'échange d'informations avec un centre de traitement. Cette "autonomie", somme toute très limitée mais techniquement remarquable implique une capacité à percevoir une partie de l'environnement et ce de façon pertinente. La captation de l'environnement engendre une quantité d'information infinie qu'il faut trier et ségréguer. Ce choix dans la focalisation pour une partie restreinte de l'environnement disponible est le mécanisme de l'attention. L'attention est donc un filtre d'ordre n sélectionnant quelques raies particulières dans un spectre infiniment riche en fréquences et en nature (acoustique, électromagnétique, etc.). Nous comprenons que ce filtrage est une opération extrêmement complexe, y compris d'ailleurs pour le vivant. Mais dans le cas d'un système artificiel, l'opération implique des algorithmes et électroniques difficiles à développer. Ainsi avoir un nez artificiel est une perception qui sera probablement disponibles dans les décennies à venir. Mais développer comme un chien la capacité d'associer l'odeur à des comportements pour trier les odeurs en fonction du sens de leurs origines est d'une autre complexité. Aujourd'hui les prises de décision sont de plus en plus assurées à l'aide de réseaux de neurones auxquels nous avons appris à discerner les scènes d'intérêt du flot des scènes perceptibles. Mais le traitement général de l'analogie entre la perception et l'interprétation, cœur de la pensée¹, reste le point dur non résolu pour les informatiques embarquées.

La fonction de filtrage F s'applique à un ensemble d'observables perçues $e_k(s) \in \mathbb{C}^n$, s étant l'opérateur de Laplace. Nous pouvons écrire de manière générique²:

$$x_\alpha = F_\alpha^k \int_s ds e_k(s) \quad (1)$$

Le paradoxe est que pour réduire le volume de données et se focaliser sur une scène réduite et ainsi filtrer efficacement, il faut avoir au préalable fait une identification à la volée. C'est la force des systèmes neuronaux naturels d'avoir une capacité d'identification extrêmement efficace. Dans le cas de l'électronique, il faut absorber des quantités d'information au départ à l'aveugle avant d'avoir pu faire toute identification et ensuite focaliser la perception et le filtrage. Nous comprenons dès lors que la notion d'attention devient une notion de reconnaissance et une focalisation sur des points d'intérêts dans une scène, ce qui n'est pas du tout la même stratégie. Nous sommes avec la cybernétique dans de l'a postériori, alors que le vivant travaille beaucoup sur l'a priori. A contrario, l'objectivité sans faille de l'électronique fait qu'elle ne pourrait pas tomber dans le piège du gorille et des joueurs de ballon³. Même un réseau de neurones très focalisé captera le gorille et cherchera à l'interpréter, c'est à dire le passera dans

¹ L'analogie, cœur de la pensée. D.Hofstadter, E.Sander, Odile Jacob.

² Dédit de "la cybernétique" de N.Wiener, traduit par Le Roux, Vallée, Vallée - Lévi.

³ Test du gorille invisible (« The Invisible Gorilla »), mis au point en 1999 par Christopher Chabris et Daniel Simons, deux chercheurs en Psychologie cognitive de l'Université Harvard, surnommés depuis The Gorilla Guys.

sa moulinette de réseau de neurones pour ensuite (temporellement) le filtrer. Cela revient quelque part à reconnaître que nous ne savons pas coder l'intuition !

4 Volume d'information

Le volume d'information traité par le vivant est considérable. L'ADN porte une capacité de codage encore loin d'être accessible par les électroniques actuelles. Tès vie, avec les progrès de l'électronique et sa miniaturisation sont venues les notions de "big data". Bien qu'attachées avant tout au réseau d'internet et aux milliards de données qu'il permet de recueillir et traiter, cette aptitude à travailler sur des volumes de données importants a rapidement été perçue comme un avantage pour affiner les analyses électroniques que nous nommerons artificielles.

Les réseaux de neurones par exemple portent aujourd'hui des milliers de couches et sont intégrés dans des processeurs spécialisés, ce qui a permis également d'augmenter leur densité. Nous voyons là une capacité singulière et propre aux systèmes cybernétiques. Le cerveau humain n'a pas été conçu du tout pour travailler sur ces volumes gigantesques. C'est de nouveau notre capacité à construire des analogies extrêmement complexes qui nous prémunit de la nécessité de détenir ces bases de données, là où une électronique a besoin de mémoriser toutes les scènes vécues. Et nous abordons là le début du problème de la reconnaissance du signe. Un signe est souvent un détail dans une scène globale. Ce n'est pas tant la scène complète que la variation sur un sourire, un mouvement de la main, un regard, un évocation dans un paysage, etc. Nous comprenons que le signe peut-être une différence tenue par rapport à une scène au départ sans signification particulière. De fait la distinction du signe est un exercice difficile pour une électronique.

La reconnaissance s'effectue par l'usage de réseaux de neurones. Soit RN un réseau de neurone, peu importe sa structure. Soit I^m une information, le réseau engendre une sortie S_k en réponse à la sollicitation de l'information I^m : $S_k = RN_{t,km}(\epsilon_k)I^m$. L'écart entre la réponse et l'attendu R_k permet de modifier et adapter le réseau pour améliorer la réponse :

$$\epsilon_k(t) = (R_k - S_k) \Rightarrow RN_{km}(t + dt, \epsilon_k) \quad (2)$$

L'apprentissage converge vers une stabilisation de la structure du réseau $RN_{km}(+\infty)$, cette stabilisation est atteinte quand l'écart devient suffisamment faible : $\epsilon_k < \epsilon_k^0$. Le signe J^1 n'appartient pas au départ à l'ensemble des informations d'apprentissage $\{I^m\}$, $J^1 \notin \{I^m\}$. Mais nous constatons:

$$\epsilon_k = (R_k - RN_{k1}J^1) < \epsilon_k^0 \quad (3)$$

Bien que non identifié, le signe engendre une réponse du réseau de neurone mais qui n'aura aucune pertinence, car la différenciation avec des scènes autres n'est pas réalisée, étant trop tenue pour la capacité de différenciation du réseau.

A l'inverse pour reconnaître le signe, il aurait fallu sous la même technique un ensemble d'apprentissage quasi-infini. Il faut réaliser que pour traiter une image définie sur 16 digits et en format 640 par 400 pixels à 24 images par seconde nous atteignons déjà un débit proche de 100 Mb/s. Quand nous savons

qu'un seul neurone biologique peut couvrir cette performance, nous prenons conscience de l'écart qu'il y a entre l'artificiel et le naturel.

Une autre difficulté existe pour laquelle l'augmentation de capacité d'interprétation des algorithmes vient du big data : la différenciation provenant des hypothèses de contextes. Ainsi, entre une pièce de théâtre sur la guerre et une scène de guerre vécue, l'interprétation vient de la connaissance des contextes attachés à chacune de ces deux perceptions.

Finalement, l'apprentissage passe au minimum par des ensembles très grands de paquets d'informations attachés à un ensemble très grand de contextes. Le produit de ces ensembles ne peut être couvert par les électroniques actuelles. Sans doute que des théories comme la théorie des jeux peut aider à modéliser les décisions d'identifications en tentant de simuler la connaissance des contextes du vivant. La figure 1 présente l'enchevêtrement de ces articulations.

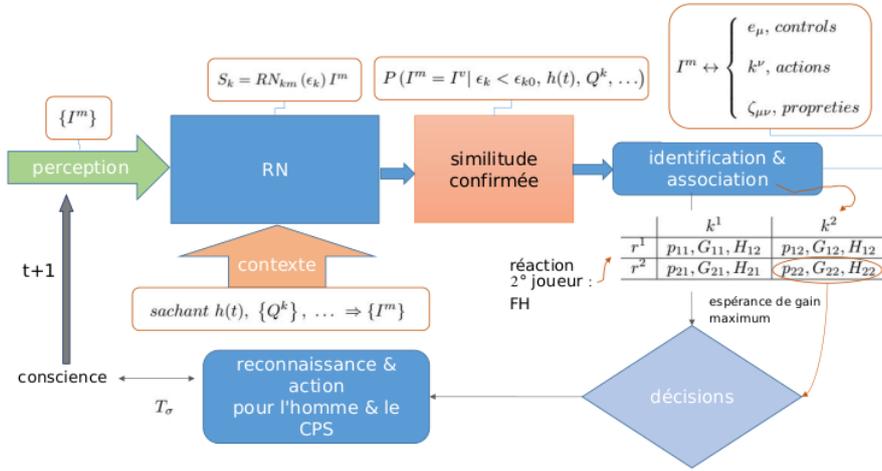


Figure 1

5 Perturbation de l'apprentissage artificiel

Imaginons un processus d'apprentissage. Pour une sollicitation x^σ d'un réseau, nous avons une réponse y_μ :

$$y_\mu = a_{\mu\sigma} \cdot x^\sigma \quad (4)$$

L'écart à l'attendu s_k est calculé :

$$\epsilon_k = s_k - y_k \quad (5)$$

Les coefficients du réseau sont réajustés :

$$a_{\mu\sigma} = a_{\mu\sigma} + \delta_\mu \epsilon_k \quad (6)$$

Suivons le même processus mais pollué par un bruit (noté avec un tilde). Nous avons alors:

$$y_\mu = a_{\mu\sigma} (x^\sigma + \tilde{x}^\sigma) \Rightarrow \tilde{y}_\mu = a_{\mu\sigma} \tilde{x}^\sigma \quad (7)$$

L'écart est calculé :

$$\epsilon_k = s_k - y_k - \tilde{y}_k \rightarrow \tilde{\epsilon}_k = \tilde{y}_k \quad (8)$$

et le réseau mémorise l'erreur :

$$\tilde{a}_{\mu\sigma} = a_{\mu\sigma} + \delta_\mu (\epsilon_\sigma - \tilde{\epsilon}_\sigma) \quad (9)$$

6 Évolution de l'électronique

L'électronique évolue à une vitesse exponentielle. Les progrès en électronique donnant accès à de nouveaux outils à même d'élaborer des électroniques encore plus performantes. Des projets futuristes d'électronique moléculaire se font jour, pointant les premières pistes d'augmentation de la complexité accessible par les unités élémentaires de l'électronique. Par ailleurs les interfaces permettant de relier électronique et cellules se développe également. De sorte que les ponts entre le biologique et l'électronique vont se multiplier et l'ensemble converge vers des organes artificiels qui seront implantés dans le vivant. La figure 2 illustre cette évolution.

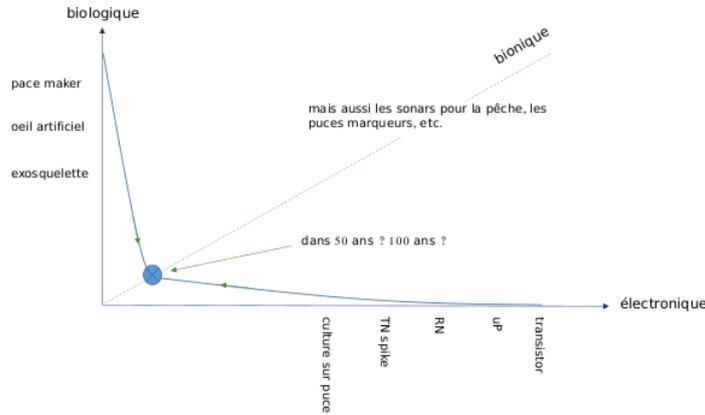


Figure 2

7 Conclusion

La perception du signe reste dans sa subtilité un fait inaccessible aux systèmes cybernétiques actuels. Mais l'évolution de l'électronique et les hybridations entre les électroniques et le biologique pour les systèmes cyber-physiques de demain laissent présager que la perception artificielle va continuellement progresser pour nourrir les projets de réalité augmentée, tout d'abord orientées vers les aides à l'handicap. Pour autant l'incompréhension factuelle du fonctionnement des neurones naturels qui pourrait nous être inaccessible ne doit pas cacher par des comparaisons trompeuses l'écart effectif avec l'artificiel.