

Traitement du signal, réseaux de neurones et systèmes experts : Le mariage à trois pour les futurs systèmes intelligents de traitement de l'information ?



Gérard FAVIER

Les facultés d'acquérir, de traiter et de transmettre des connaissances, avec comme corollaires les capacités d'apprendre, de raisonner, d'interpréter, de reconnaître, de décider, de communiquer et d'agir, constituent les clefs de voûte d'une certaine forme d'intelligence.

Depuis de nombreuses années, l'une des ambitions de l'Homme est de reproduire artificiellement ce type d'intelligence dans le but de concevoir et de construire une machine intelligente, dotée de mécanismes de perception, de mémorisation, d'apprentissage, de raisonnement, de communication et d'action, lui conférant une certaine autonomie. Pour réaliser la boucle perception-action, le cerveau agit comme un véritable système de traitement d'information ; reproduire de façon artificielle cette boucle constitue un vaste programme de recherche pluridisciplinaire qui concerne tout aussi bien les sciences et technologies de l'information (informatique, traitement du signal, automatique) que les sciences cognitives (neurosciences, psychologie cognitive, linguistique).

C'est dans les années 40 que ces recherches ont démarré avec la fondation du mouvement cybernétique qui, sous l'impulsion de Wiener, Shannon, et plus tard Kalman, a permis de développer la théorie statistique du signal, la théorie des communications et la théorie des systèmes.

C'est à la même époque que, basés sur les principes de la logique, sont nés le modèle de neurone formel de Mc Culloch et Pitts, et l'architecture de type von Neumann des ordinateurs conventionnels. Ces résultats ont contribué au développement des deux courants de pensée qui sous-tendent aujourd'hui les recherches en intelligence artificielle : l'approche

symbolique, avec les systèmes experts comme fer de lance, et l'approche connexionniste, royaume des réseaux de neurones (appelés aussi réseaux de neurones formels, réseaux neuro-mimétiques, réseaux neuronaux ou encore modèles connexionnistes).

Les méthodes de traitement du signal et de l'image (TDSI), les réseaux de neurones (RN) et les systèmes experts (SE) ont comme dénominateur commun le traitement d'information. Ces techniques ont chacune leurs forces et leurs faiblesses. De plus, elles apparaissent comme complémentaires :

— en raison du type d'information qu'elles permettent de traiter : information de type numérique pour les méthodes de traitement du signal et les réseaux de neurones ; information de type symbolique pour les systèmes experts et, de façon indirecte, pour les réseaux de neurones ;

— d'autre part, tant de par les modèles qui leurs sont sous-jacents et qui impliquent des modes naturels de calcul différents (séquentiel pour les méthodes de traitement du signal et les systèmes experts ; parallèle pour les réseaux de neurones), que de par les hypothèses et les connaissances requises a priori.

Il est à noter, cependant, que ces techniques ont atteint des degrés de maturité différents, tant sur les plans théorique et technologique, que sur celui des applications. Ainsi, tandis que la plupart des méthodes de Traitement du Signal reposent sur des fondements mathématiques solides et rigoureux, l'analyse des réseaux de neurones formels, à l'aide des méthodes de la mécanique statistique notamment, n'offre encore que des résultats théoriques partiels. D'autre part, en ce qui concerne les applications, si les méthodes de Traitement du Signal ont connu un réel

succès au cours des vingt dernières années, dans des domaines aussi variés que les télécommunications, la mécanique, l'acoustique, la géophysique, la sismique, l'astrophysique ou encore le génie biomédical, les premières réalisations industrielles faisant appel aux réseaux de neurones commencent seulement à voir le jour. Toutefois, grâce au développement de générateurs de systèmes experts et de simulateurs de réseaux de neurones, ces outils d'Intelligence Artificielle peuvent être rendus accessibles de façon souple et rapide. Ceci a permis une large diffusion des systèmes experts au cours des années 80, et certainement que l'actuelle décennie verra la percée industrielle des réseaux de neurones.

De la complémentarité et d'une coopération judicieuse de ces techniques, devrait résulter une amélioration des performances de certains systèmes existants, comme par exemple les systèmes de vision artificielle, les systèmes de reconnaissance de caractères ou de la parole, ou encore les systèmes de classification, de diagnostic, de surveillance et de contrôle automatiques.

Ces coopérations peuvent intervenir à différents niveaux. En effet, la chaîne qui permet de passer de l'observation à l'interprétation de l'information utile contenue dans les signaux et les images, comporte toute une série de traitements qui se répartissent selon trois niveaux :

— un premier niveau proche des systèmes de génération et de saisie de l'information, qui concerne essentiellement des traitements numériques visant à effectuer une analyse et une mise en forme des signaux et des images afin d'en améliorer le contenu et d'en extraire certaines caractéristiques de type quantitatif (modèle numérique, modes de vibration, rapport signal/bruit, non stationnarités, contours, régions, ...). On trouve à ce niveau les fonctions d'analyse spectrale, de filtrage, d'estimation, de détection, de segmentation et de localisation ;

— un deuxième niveau relatif à la description de l'information, qui correspond à une phase d'exploitation des signaux et des images, visant à mettre en évidence leur contenu informationnel, à travers une représentation plus globale et plus proche de la nature du phénomène enregistré. Il s'agit de dégager ici une caractérisation suffisamment discriminante des signaux et des images, à l'aide d'attributs qualitatifs (de forme, de taille, de couleur, de position). Ce passage du quantitatif au qualitatif s'effectue, bien souvent, à travers l'application de méthodes de Reconnaissance des Formes, et, bien entendu, une étape de conversion numérique/symbolique, pouvant faire intervenir la logique floue ;

— un troisième niveau relatif à l'analyse des données issues des descriptions précédentes. Ce niveau contient les traitements dits « de haut niveau », correspondant à des fonctions d'apprentissage et d'interprétation. Il s'agit ici de comprendre et d'expliquer le contenu informationnel des signaux et des images, avec comme finalités de reconnaître (parole,

écriture manuscrite, signature, empreinte digitale, visage, scène, défaut, panne, ...), de décider (contrôle, diagnostic), et d'agir.

Sur la base de ce découpage, on peut imaginer différents types de coopération :

— coopération des méthodes de traitement du signal et de l'image et des réseaux de neurones (TDSI/RN) pour réaliser soit des fonctions du premier niveau telles que la segmentation d'images, la détection et l'estimation de mouvement, l'analyse de la couleur, ou encore la fusion de données, soit des tâches de haut niveau comme la classification, la reconnaissance et l'interprétation ;

— coopération des méthodes de traitement du signal et de l'image et des systèmes experts (TDSI/SE) : le système expert peut intervenir soit au niveau du pilotage des traitements (aide experte pour le choix des méthodes et le réglage des paramètres caractéristiques de ces méthodes ; supervision intelligente des traitements), soit en aval de ces traitements, pour l'interprétation automatique des résultats délivrés par les méthodes de TDSI ;

— coopération des réseaux de neurones et des systèmes experts (RN/SE) pour obtenir ce qui est appelé « les systèmes hybrides » : le réseau de neurones traite les informations de bas niveau, tandis que le système expert résout le problème d'interprétation.

A partir des différents types de coopération que nous venons de lister ci-dessus, il est possible de classer les dix contributions de ce numéro spécial, réparties en deux volumes, de la façon suivante.

Les cinq contributions du volume 1 concernent les réseaux de neurones.

L'article de P. Comon passe tout d'abord en revue quelques propriétés des réseaux de neurones multicouche, puis il présente une coopération du type TDSI/RN pour la réalisation, de façon approchée, de la classification bayésienne supervisée. Cette technique de discrimination directe est comparée au perceptron multicouche classique. L'article de S. Marcos *et al.* montre que les réseaux de neurones non bouclés et bouclés peuvent être utilisés comme filtres non linéaires adaptatifs, transverses et récursifs respectivement.

J. Minot et Ph. Gentric proposent une nouvelle méthode pour l'authentification de signatures à partir des paramètres temporels de l'écriture, qui combine des techniques de traitement du signal et de réseaux de neurones.

Dans l'article de M. Forthoffer *et al.*, est décrite une nouvelle méthode de détection de contours, basée sur une coopération du type TDSI/RN : une analyse en ondelettes permet d'extraire les discontinuités d'une image, à différentes résolutions, tandis qu'un réseau de neurones multicouche est chargé de combiner les différentes résolutions pour reconstituer les contours.

Enfin, Ph. Gaussier et J. P. Cocquerez décrivent un système de reconnaissance de scènes complexes, basé sur l'utilisation de réseaux de neurones pour

réaliser l'ensemble de la chaîne de traitements : extraction de contours, recherche de points caractéristiques, interprétation, commande des mouvements oculaires et simulation de rotations mentales.

Le volume 2 renferme 5 contributions relatant des expériences de coopération de types TDSI/SE et TDSI/RN/SE.

L'article de M. Thonnat et M. H. Gandelin présente un exemple de coopération TDSI/SE, dont la finalité est la description et le classement automatiques de zooplanctons, à partir d'images monoculaires. L'application d'un ensemble prédéterminé de méthodes de traitement d'image permet d'obtenir des descripteurs numériques des objets à reconnaître. Ces descripteurs sont fournis comme faits en entrée du système expert qui effectue le classement, en utilisant l'expertise de zooplanctonologues.

L'article de V. Clément et M. Thonnat présente le noyau de systèmes experts OCAP, spécialisé dans le pilotage de procédures de traitement d'image. A la différence de l'article précédent qui fait intervenir des connaissances relatives à un domaine d'application particulier (la modélisation des zooplanctons), le système OCAP manipule des connaissances sur les programmes de traitement d'image, afin d'automatiser certaines tâches comme la sélection des programmes les mieux appropriés, leurs enchaînements, ou encore le réglage de leurs paramètres. L'utilisation de l'outil OCAP est illustrée à travers la présentation du système expert PROGAL pour la description morphologique de galaxies en vue de leur classification.

Dans l'article de Ph. Garnesson, G. Giraudon et Ph. Montesinos, une architecture multi spécialistes, appelée Messie, est décrite pour l'interprétation

d'images, avec comme domaine d'application visé l'imagerie aérienne. Comme dans l'article de M. Thonnat et M. H. Gandelin, des méthodes de traitement d'image sont utilisées pour extraire de l'image certaines caractéristiques qui sont ensuite exploitées par le système à base de connaissance, chaque classe d'objet à reconnaître donnant lieu à une base de connaissance séparée, appelée spécialiste.

L'article de J. P. Cocquerez, Ph. Gaussier et S. Philipp fournit un exemple de coopération TDSI/RN/SE, pour l'interprétation d'images aériennes. Les méthodes de traitement d'image interviennent dans les deux premiers niveaux de la chaîne de traitement, pour réaliser une segmentation en régions, suivie de la construction d'un graphe d'adjacence comportant les caractéristiques de chaque région. L'interprétation des images est ensuite obtenue grâce à une coopération du type RN/SE, le système à base de règles contrôlant le fonctionnement du réseau de neurones.

Enfin, la correspondance de J. C. Junqua décrit succinctement un environnement intégré pour le traitement automatique de la parole, incluant entre autres des boîtes à outils pour le traitement du signal, la simulation de réseaux de neurones et la réalisation de systèmes experts.

Nous devons signaler ici l'importance du renforcement des collaborations entre chercheurs des différentes communautés scientifiques concernées par le traitement de l'information, à travers des programmes de recherche pluridisciplinaire tels que le programme Cognisciences du CNRS. Ces recherches pluridisciplinaires devraient favoriser l'apport de solutions nouvelles à des problèmes souvent difficiles, dont les enjeux économiques et sociaux sont considérables.