

# La Rétine Connexionniste : Une Rétine artificielle à traitement centralisé

Bertrand GRANADO<sup>1</sup>, Andrea PINNA<sup>1</sup>, Tidiane CUENIN<sup>1</sup>, Annick ALEXANDRE<sup>1</sup>, Eric BELHAIRE<sup>2</sup>, Patrick GARDA<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>LISIF Université Pierre et Marie Curie (VI), Paris, France

<sup>2</sup>IEF Université Paris-Sud (XI), Orsay, France

Bertrand.Granado@lis.jussieu.fr

**Résumé** – Dans cet article nous présentons une rétine artificielle d’une nouvelle génération capable de tirer partie des algorithmes neuronaux. Cette rétine, nommée rétine connexionniste, est basée sur l’utilisation conjointe d’une matrice de photodétecteurs originaux réalisés en CMOS et d’une architecture numérique centralisée capable d’exécuter en temps réel des algorithmes neuronaux. De plus, afin de s’auto-adapter aux conditions lumineuses, une méthode originale de réglage du temps d’obturation est définie. Cette méthode s’appuie sur l’algorithme de binarisation d’Otsu. Nous présentons aussi la réalisation d’un prototype de cette rétine à l’aide d’outils de développement ARM. Nous montrons enfin la validité de notre concept.

**Abstract** – In this article we present a new generation of artificial retina which has the capacity to take advantage of neural networks algorithms. This retina, named connexionnist retina, is based on an original CMOS imager associated with a numerical architecture for the real time simulation of neural networks. In addition, this retina has the capacity of an auto adaptation to the luminosity. This adaptation is based on an original algorithm which use the Otsu binarisation method. We present the realization of a prototype of our retina with ARM development tools. We demonstrate the validity of this concept.

## 1 Introduction

Une rétine électronique artificielle [1] est un circuit intégré composé d’un détecteur d’image et d’une architecture parallèle. L’intérêt du développement de ce type de circuit est d’avoir un système de vision CMOS performant intégré sur une seule puce, autrement dit un VSoC (Visual System On Chip) <sup>1</sup>.

La conception et la réalisation de rétines artificielles puise sa source dans l’analogie de l’œil biologique. Dès lors, les recherches qui ont porté sur ce sujet, ont été orientées vers des architectures de traitement distribuées [2, 3, 4]. Mais ce type de traitement, très bien adapté aux traitements entre pixels voisins, est vite dépassé lorsque les calculs se délocalisent du voisinage.

Ainsi, alors qu’il semble intéressant d’utiliser dans une rétine artificielle des algorithmes neuronaux, comme les PMC (Perceptrons Multi Couches), capables de résoudre des problèmes cognitifs comme l’identification de visage, ou la reconnaissance de formes. Il apparaît difficile de le faire à l’aide d’une architecture de traitement distribuée sur les pixels, puisqu’en fonction du nombre de couche du PMC, le traitement se délocalise de plus en plus [5].

Afin d’intégrer ce type de traitement dans une rétine artificielle nous avons étudié une nouvelle approche. Cette approche est basée sur une architecture de traitement centralisée, permettant d’exécuter des traitements de moyen à haut niveau en temps réels dans des systèmes embarqués.

Cette rétine est de plus dotée d’un post-traitement original, basé sur une binarisation d’image, lui permettant de s’auto-adapter aux conditions lumineuses, et ainsi de permettre de garder au maximum la même image quelque soit l’éclairage de la scène.

Cet article décrit une mise en œuvre de cette rétine artificielle, nommée rétine connexionniste, à travers la réalisation d’un prototype implémenté dans un émulateur SoC (System on Chip) basé sur un système de microprocesseur embarqué RISC (Reduce Instruction Set Computer) de type ARM.

## 2 Rétine Connexionniste

La rétine connexionniste [6] est basée sur une architecture centralisée composée d’un circuit intégré incluant un imageur, une électronique de conversion analogique numérique et une architecture parallèle spécialisée dans la simulation de réseaux connexionnistes. L’imageur est composé d’une matrice de pixels actifs, réalisés à l’aide de phototransistors. C’est un circuit mixte comprenant une matrice de 64 x 64 cellules de type APS<sup>2</sup> [7] et un circuit numérique gérant l’acquisition et la lecture d’une image. L’acquisition de l’image, contrairement aux rétines jusqu’alors, n’est pas continue, elle est instantanée et contrôlée par un obturateur électronique permettant un fonctionnement à la cadence vidéo. Nous avons introduit cet obturateur électronique parce que les réseaux neuronaux que nous désirons mettre en œuvre, de type PMC et RBF, ont besoin d’une image acquise instantanément. L’imageur a été réalisé dans une technologie CMOS AMS 0.6- $\mu\text{m}$ .

A cet imageur est associé un circuit de lecture et un convertisseur analogique-numérique qui permet de transformer l’information analogique en une information numérique exploitable par un système numérique.

Puis vient une unité de traitement centralisée appelée MAHARADJA conçu pour simuler deux types de réseaux de

<sup>1</sup>Sur une idée originale de Thierry Bernard

<sup>2</sup>Active Pixel Sensor

neurones structurés en couches : les PMC et les RBF (réseaux à fonction à base radiale). Cette architecture est décrite dans [8]. La figure 1 nous montre l'architecture de la rétine connexionniste.

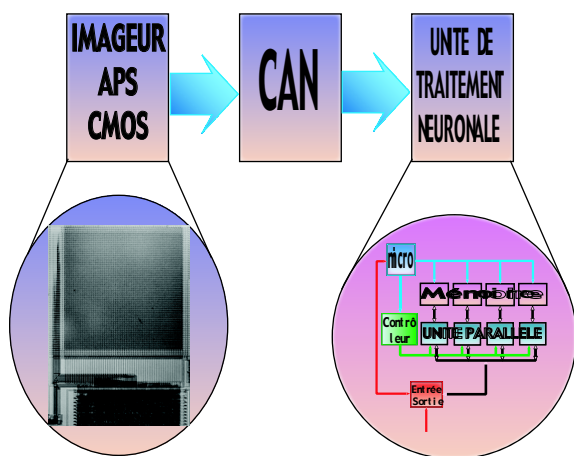


FIG. 1 – Architecture de la rétine connexionniste - Imageur et Maharadjah

Le système choisi pour l'intégration du prototype est un émulateur de SOC basé sur un processeur RISC de type ARM. Ce type de système et de plus en plus utilisé dans la plupart des applications embarquées, comme les téléphones portables, les PDA.

### 3 Résultats

Nous avons simulé un réseau PMC pour la reconnaissance de caractère nommée LeNet. C'est un perceptron avec 96522 connexions locales, 1920 connexions complètes et 4365 neurones. Il a été développé par Y.Lecun chez AT × T. Pour les RBF nous avons simulé un réseau pouvant être utilisé en traitement d'image. Pour ce réseau nous obtenons une latence inférieure à 1 ms, sont 40 fois plus rapide que la cadence vidéo. Ceci montre la capacité de traitement en temps réel de la rétine. Les résultats sont résumés dans le tableau 1

| Type de Réseaux | Temps Prédit                         |
|-----------------|--------------------------------------|
| LeNet           | 29,8 ms à 20 MHz<br>23,8 ms à 25 MHz |
| RBF (4-10-256)  | 473µs                                |

TAB. 1 – Temps de Simulation de différents réseaux sur Maharadjah

Pour effectuer la reconnaissance de visage, il est nécessaire de faire un apprentissage durant lequel différentes images du même visage sont stockées en mémoire. En général, celui-ci doit prendre en compte toutes les conditions d'éclairage auxquelles les visages sont soumises. L'utilisation de l'obturateur dans l'imageur permet de s'affranchir de cette contrainte et de considérer un nombre moins important d'images à stocker par visage puisqu'il est maintenant possible de traiter sur une seule image plusieurs type d'éclairages. Plus la dynamique optique de l'obturateur est grande plus le nombre d'images stockées par

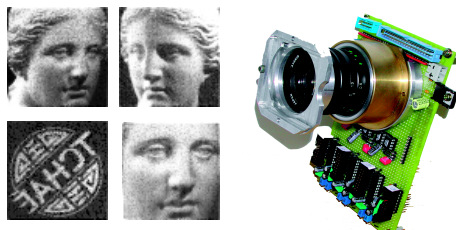


FIG. 2 – Images issues de l'imageur - Montage de l'imageur avec optique

visage est petit. Afin de s'auto-adapter aux conditions lumineuses, nous avons conçu un algorithme original basé sur une méthode de binarisation dite méthode d'Otsu, permettant une commande automatique de l'obturateur.

## 4 Commande automatique de l'obturateur

### 4.1 Méthode d'Otsu

La méthode d'Otsu [9] est un cas particulier de la méthode de Fisher. Cette dernière permet de segmenter l'image en n classes de pixels par la détermination de n-1 seuils à partir de son histogramme. Dans l'algorithme d'Otsu on ne considère que 2 classes qui sont les pixels blancs et les pixels noirs de l'image. L'idée est de caractériser les classes par leur valeur moyenne puis de minimiser la somme de leur inertie. Les résultats sont bien meilleurs qu'avec le seuillage simple lorsque l'histogramme est déséquilibré.

Dans cette méthode, une masse ( la densité du niveau de gris) est associée à des points (un point par niveau de gris) Le but est de trouver le seuil k qui minimise la somme de l'inertie des classes, ce seuil se substituera au seuil simple de 127. Le tout revient, pour des images en 256 niveaux de gris comme les nôtres, à maximiser la fonction suivante :

$$J(k) = \frac{\sum_0^{k-1} i \cdot h(i)^2}{\sum_0^{k-1} h(i)} + \frac{\sum_k^{255} i \cdot h(i)^2}{\sum_k^{255} h(i)}$$

où k est le seuil optimal, i est le niveau de gris et h(i) est la densité du niveau de gris i.

### 4.2 Utilisation d'Otsu pour la commande

La commande automatique de l'obturateur s'effectue suivant une boucle d'asservissement. L'idée est de trouver le temps d'obturation qui nous fixe un seuil de binarisation constant et optimum. Ce seuil se situe autour de 127 pour nos images, car nous considérons que pour cette valeur il y a autant de pixels clairs que de pixel foncés dans l'image. Le déroulement est le suivant, il est tout d'abord fixé un seuil, idéalement à 127, puis l'image est traitée par la méthode d'Otsu afin de déterminer le seuil optimal, si celui-ci est égal à 127 alors le temps d'obturation est inchangé, sinon ce temps est diminué ou augmenté jusqu'à ce que le seuil optimal livré par Otsu soit proche de 127, la boucle d'asservissement est visible sur la figure 3

De plus, afin de se prémunir de zones trop claires ou trop sombres, l'image est divisée en 5 parties, et les zones trop claires ou trop sombres sont éliminées du calcul d'Otsu. Le

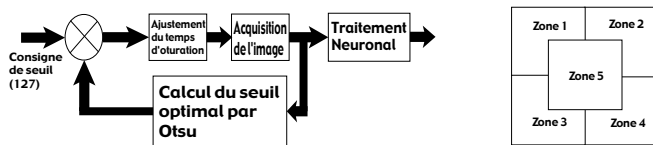


FIG. 3 – Boucle d’asservissement

découpage, qui est visible sur la figure 3, est celui utilisé dans les appareils photos [10].

## 5 Applications

Les applications utilisant la rétine connexionniste peuvent être nombreuses. Parmi elles il y a notamment l’authentification de visage par réseaux neuronaux dans des systèmes de types verrous. Les verrous peuvent être intégrés dans une porte, dans ce cas nous réalisons une serrure électronique basée sur l’identification de visages.

Il est aussi possible d’intégrer le verrou électronique dans un ordinateur multi-utilisateurs. Le système ainsi réalisé peut avantageusement remplacer les systèmes actuels basés sur des mots de passes.

## 6 Conclusion

Dans cet article nous avons décrit un VSoC, une rétine artificielle, intégrant des algorithmes neuronaux de type PMC et RBF. Pour cela, l’architecture de traitement de la rétine n’est pas distribuée mais centralisée. Cette méthode permet d’avoir un système programmable, utilisant un grande dynamique de codage pour représenter l’information (de 8 à 16 bits) et permet de s’adapter aux conditions lumineuses grâce à la mise en oeuvre d’une commande d’obturateur.

Nous avons aussi présenté une méthode originale de commande automatique de l’obturateur, basé sur un algorithme de binarisation.

## Références

- [1] Alizera Moini. *Vision Chips or Seeing Silicon*, 1997.
- [2] M.Barbaro, P.Y. Burgi, A. Mortara, P. Nussbaum, and F. Heitger. A 100 x 100 pixel silicon retina for gradient extraction with steering filter capabilities and temporal output coding. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 37(2) :160–172, 2002.
- [3] F. Paillet, D. Mercier, and T.M. Bernard. Second generation programmable artificial retina. In *Proc. IEEE ASIC/SOC Conf.*, pages 304–309, 1999.
- [4] W.Beaudot and J.Hérault. The vertebrate retina : A model of spatiotemporal image filtering. *14 Colloque Grets*, Septembre 1993.
- [5] christopher M. bishop. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford University Press, 1996.
- [6] Bertrand Granado. *Architecture des systèmes électroniques pour les réseaux de neurones - Conception d’une rétine connexionniste*. PhD thesis, Université Paris Sud - Orsay, 1998.

- [7] Chye Huat and Bruce A. Wooley. A 128x128-pixel standard cmos imager with electronic shutter. *IEEE Journal of Solid State Circuits*, 12(31), December 1996.
- [8] Bertrand Granado, Andréa Pinna, Luc Gaborit, and Patrick Garda. Maharadja : A system for the real time simulation of rbf with the mahalanobis distance. *Neural Processing Letter*, 13(3) :253–266, June 2001.
- [9] N. Otsu. A threshold selection method from grey scale histogram. *IEEE Trans. on Syst. Man and Cyber.*, 1 :62–66, 1979.
- [10] Michel de Ferrieres. *Test "Photo Argus" Nikon FA*, édition vm edition, 1989.