

# Filtrage Perceptuel Pyramidal

Azeddine BEGHDAI<sup>1</sup>, Razvan IORDACHE<sup>2</sup> et Abdel-Ouahab BOUDRAA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>L2TI

Institut Galilée, Université Paris 13, 93430 Villetaneuse, France

<sup>2</sup>GE Healthcare Technologies, France

<sup>3</sup>IRENav

Ecole Navale, Lanvéoc-Poulmic, BP600, 29240 Brest-Armées, France

azeddine.beghdadi@galilee.univ-paris13.fr, razvan.iordache@med.ge.com  
boudra@ecole-navale.fr

**Résumé** – Dans cet article, un schéma multirésolution perceptuel basé sur le système visuel humain est proposé. L'idée principale est la détection des structures les plus pertinentes de l'image à chaque échelle de la pyramide Gaussienne en utilisant comme critère le seuil de détection en contraste, JNC (pour Just noticeable contrast) et la notion d'adaptation de luminance. Nous appliquons le filtrage perceptuel à des images de niveaux de gris.

**Abstract** – In this paper a perceptual multiresolution scheme based on human visual system model is proposed. The main idea is to detect and remove the perceptual irrelevant structures at different scales using the JNC (Just noticeable contrast) and the notion of luminance adaptation. Thi processing is based on the Laplacian and Gaussian pyramid decompositions of the image as proposed by Burt and Adelson. The effectiveness of the developed method is evaluated on gray-level images.

## 1 Introduction

L'exploitation de quelques connaissances sur les mécanismes de la vision chez certains mammifères [1] et notamment la sensibilité au contraste [2] et l'architecture fonctionnelle du cortex [3], a ouvert de nouvelles perspectives en traitement d'images numériques [4]. Il est bien établi que les limitations du système visuel chez certains mammifères rendent certaines structures invisibles et donc sans importance sur le plan visuel. Ainsi, le phénomène de masquage et la sensibilité fréquentielle du SVH (Système Visuel Humain) permettent de mettre en évidence les structures qui échappent à l'observateur humain. Dans ce travail on se limite au contraste des luminances et plus particulièrement au JNC (pour Just Noticeable Contrast). Cette mesure est utilisée comme critère de non pertinence de l'information visuelle [1]. L'étude de la sensibilité du SVH au contraste des luminances a suscité beaucoup d'intérêt depuis la fameuse expérience psycho-visuelle de Weber-Fechner. Cependant, malgré le nombre considérable d'études sur ce phénomène, il n'existe pas de définition universelle du contraste de luminance. Une mesure de contraste qui s'est révélé efficace notamment pour la mise au point de mesure de qualité d'image est celle due à Peli [5]. En se basant sur la sensibilité fréquentielle du SVH, Peli définit un contraste par bande de fréquences spatiales. Ici, comme solution alternative nous avons choisi un contraste local basé sur celui de Moon et Spencer [6]. Pour tenir compte des étages primaires du SVH, on a choisi un schéma multirésolution. Le contraste est évalué à chaque niveau de la pyramide Gaussienne. Nous nous limitons ici aux images en niveaux de gris.

## 2 Filtrage Perceptuel

Le principe de base de la méthode repose sur l'approche multi-résolution du filtrage des images basée sur quelques mécanismes du SVH. L'idée principale est la détection des structures les plus pertinentes de l'image à chaque échelle de la pyramide Gaussienne en utilisant comme critère le seuil de détection en contraste. L'image est filtrée par une fonction de sensibilité au contraste CSF (pour Contrast sensitivity function) normalisée. La CSF permet de tenir compte de la sélectivité fréquentielle du SVH. L'image filtrée est représentée à des niveaux de résolution décroissants par une pyramide Gaussienne. A chaque niveau de cette pyramide la visibilité des pixels est évaluée et une image appelée carte de visibilité est construite. Cette carte est une représentation binaire de la visibilité où les pixels visibles sont codés par "1" et ceux qui ne le sont pas par le bit "0". Comme mesure de visibilité nous utilisons une mesure de contraste inspirée du modèle de Moon et Spencer [4]. La carte de visibilité est construite pixel par pixel et ce en comparant le contraste en chaque pixel à celui de la valeur du JNC en ce même pixel. Donc, il y a autant de cartes de visibilité que de niveaux de résolution. Finalement l'image filtrée est obtenue par la méthode de reconstruction pyramidale selon le schéma de Burt et Adelson [7].

### 2.1 Pyramide Gaussienne

Une pyramide Gaussienne est un ensemble d'images filtrées (filtre passe-bas)  $G_0, G_1, \dots, G_K$  où  $G_0$  est l'image initiale

et  $G_{k+1}$  est la version réduite de  $G_k$  [7]:

$$G_{k+1} = REDUCE[G_k], \quad k = 0, 1, 2, \dots, K-1 \quad (1)$$

L'opérateur *REDUCE* est un filtre passe-bas suivi par une opération de sous-échantillonnage de facteur 2, suivant les directions horizontale et verticale. Comme filtre passe-bas on utilise un filtre séparable dont le masque 1D est [0.05 0.25 0.4 0.25 0.05] [7].

## 2.2 Pyramide Laplacienne

Une pyramide Laplacienne est une séquence d'images d'erreurs  $L_0, L_1, \dots, L_K$  où  $L_k$  ( $k$  étant le niveau de résolution). Chaque image représente la différence entre un niveau de la pyramide Gaussienne et sa version estimée par expansion du niveau supérieur. Ce principe est décrit par

$$L_k = \begin{cases} G_k - EXPAND[G_{k+1}], & k = 0, 1, 2, \dots, K-1 \\ G_k, & k = K \end{cases} \quad (2)$$

où *EXPAND* est l'opérateur inverse de *REDUCE*. On sur-échantillonne par un facteur de 2 suivant les directions horizontale et verticale suivi d'une opération d'interpolation par le même filtre passe-bas utilisé par l'opérateur *REDUCE*. La pyramide Laplacienne est un codage exact de l'image initiale [7]:

$$G_0 = \sum_{k=0}^K EXPAND[L_k] \quad (3)$$

## 2.3 Carte de Visibilité

Comme mesure de visibilité nous utilisons une mesure de contraste inspirée du modèle de contraste de Moon et Spencer [6]. La carte est construite en comparant le contraste en chaque pixel à un seuil local de visibilité de contraste. Soit  $B$  l'image à analyser au moyen d'une fenêtre glissante de taille  $3 \times 3$ . Le contraste local associé au pixel  $(i, j)$  est donné par

$$C(i, j) = \frac{B(i, j)}{B_s(i, j)} \quad (4)$$

où  $B(i, j)$  est l'intensité du pixel  $(i, j)$  et  $B_s(i, j)$  est le niveau de gris moyen calculé dans le voisinage immédiat du pixel  $(i, j)$ .

$$B_s(i, j) = \frac{1}{8} \sum_{k,l=-1, k,l \neq 0}^{+1} B(i+k, j+l) \quad (5)$$

Nous utilisons comme valeur de seuil du contraste de visibilité, le JNC proposé par Kretz [8] et adapté aux images numériques [10] :

$$JNC(i, j) = \begin{cases} \frac{C_W (A + \sqrt{B_a(i, j)})^2}{B_s(i, j)}, & B_a(i, j) \leq B_s(i, j) \\ C_W \left( A + \sqrt{\frac{B_s^2(i, j)}{B_a(i, j)}} \right)^2, & B_a(i, j) > B_s(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

où  $C_W$  est le JNC de Weber-Fechner ( $C_W = 0.02$  en général) et  $A$  est une constante déterminée expérimentalement à partir de tests psycho-visuels et de la loi de Hecht [6] et vaut 0.808. L'expression de la luminance du champ lointain rétinien  $B_a$  est conditionnée par les luminances de la couronne  $B_s$  (luminance moyenne autour du point étudié) et du fond lointain  $B_g$  [6],[9]. Dans cette étude  $B_g$  est la luminance globale égale à la moyenne de luminance de l'image. Dans le cas de Weber-Fechner, cette expression ne dépend que de la luminance de la couronne [9]. La luminance d'adaptation du champ rétinien  $B_a$  calculé au point (pixel)  $(i, j)$  est donné par :

$$B_a(i, j) = 0.923.B_s(i, j) + 0.077.B_g \quad (7)$$

La carte de visibilité (*CV*) de l'image  $B$ , notée par  $V = CV[B]$ , est donnée par:

$$V(i, j) = \begin{cases} 1 & C(i, j) \geq JNC(i, j) \\ 0 & C(i, j) < JNC(i, j) \end{cases} \quad (8)$$

## 2.4 Pyramide "Perceptuelle"

La pyramide Laplacienne perceptuelle  $L_0^v, L_1^v, \dots, L_K^v$  est une séquence d'images obtenues à partir de la relation (2) en tenant compte de l'information de visibilité obtenue en appliquant l'opérateur *CV* à chaque niveau de la pyramide Gaussienne (1):

$$L_k^v = L_k \odot CV[G_k], \quad k = 0, 1, 2, \dots, K-1 \quad (9)$$

où  $\odot$  est le produit d'Hadamard. L'image filtrée "perceptuelle"  $G_0^v$  est reconstruite à partir de la pyramide Laplacienne perceptuelle selon le schéma standard de Burt et Adelson [7].

## 3 Résultats

Le filtrage perceptuel est évalué sur une image en niveaux de gris (Figure 2,  $G_0$ ). Le schéma de principe du filtre perceptuel est représenté par la figure 1. Six niveaux de résolution ont été utilisés ( $k = 0, \dots, 5$ ). La figure 2 représente trois niveaux de résolution ( $k = 0, 1, 2$ ) de la pyramide Gaussienne et les images correspondantes de la pyramide Laplacienne. Les cartes de visibilité ( $CV_0, CV_1, CV_2$ ) de trois images de la pyramide Gaussienne ( $G_0, G_1, G_2$ ) sont représentées par la figure 3. Ces cartes ont été obtenues pour une valeur de  $C_w = 0.02$ . La carte de visibilité n'est pas toujours facile à interpréter comme le montre, par exemple, les cartes  $CV_1$  et  $CV_2$  de la figure 3. Pour les niveaux élevés de la pyramide ( $k = 0, 1$ ), la carte de visibilité met bien en évidence les structures telles que les contours (en blanc) et les points non visibles (en noir) dans les régions homogènes. La comparaison des images reconstruites par pyramide Laplacienne et par filtrage perceptuel montre que les images reconstruites sont visuellement identiques comparée à l'originale (Figure 4). La figure 5 montre la reconstruction de l'image par filtrage perceptuel avec différentes valeur du JNC de Weber-Fechner  $C_w$ . L'image reconstruite est visuellement identique à l'originale pour de faibles valeurs de  $C_w$  et au fur et à

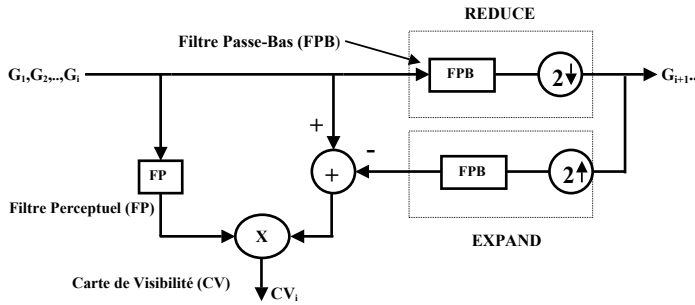


FIG. 1: Diagramme du filtre perceptuel.

mesure que  $C_w$  augmente les détails, bien contrastés disparaissent. Les structures les plus pertinentes ne sont pas trop affectées par ce processus. Seuls les détails sans trop d'importance visuelle sont lissés et noyés dans le fond immédiat. On constate un effet de lissage anisotrope qui a pour effet d'homogénéiser les régions et de rehausser les frontières. Ce résultat est similaire à celui obtenu par le filtrage non-linéaire basé sur la diffusion anisotrope [11]. Le paramètre  $C_w$  permet de contrôler l'effet de lissage.

## 4 Conclusion

Nous avons présenté une méthode de filtrage non-linéaire appelée filtrage pyramidal perceptuel. Cette méthode s'inspire des mécanismes du système visuel humain. Ce filtrage nécessite la connaissance du nombre de niveaux de résolution de la pyramide ainsi que la valeur du JNC de Weber-Fechner. Les résultats montrent que si la valeur du JNC est correctement choisie, la reconstruction perceptuelle est visuellement indiscernable de l'image originale. Par conséquent le filtrage perceptuel pourrait être utilisé comme méthode de compression des images. En effet, les points non visibles peuvent être sacrifiés et remplacés à l'étape de reconstruction par le niveau de luminance d'adaptation. Une autre application possible est la mise au point d'une métrique de qualité d'image avec référence en exploitant la carte de visibilité de la distorsion. Ces aspects sont en cours d'étude.

## References

- [1] T.N. Cornsweet, "Visual perception," Academic Press, New York, 1970.
- [2] G.T. Fechner, "Elemente der psychophysic," Breitkopf und Härtel, Leipzig, vol. 2, Chap. XVI, 1860..
- [3] D. Hubel and T.N. Wiesel, "Brain mechanism of vision," *Scientific. Amer.*, vol. 241, pp. 150-162, 1979.
- [4] M.D. Levine, vision in man and machine, 1985, Mc Graw Hill.
- [5] E. Peli, "Contrast in complex image", *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 7, no. 10, pp. 2032-2040, 1990.
- [6] P. Moon and D. E. Spencer, "The visual effect of nonuniform surrounds," *J. Opt. Soc. Amer. A*, vol. 35, pp. 233-248, 1945.

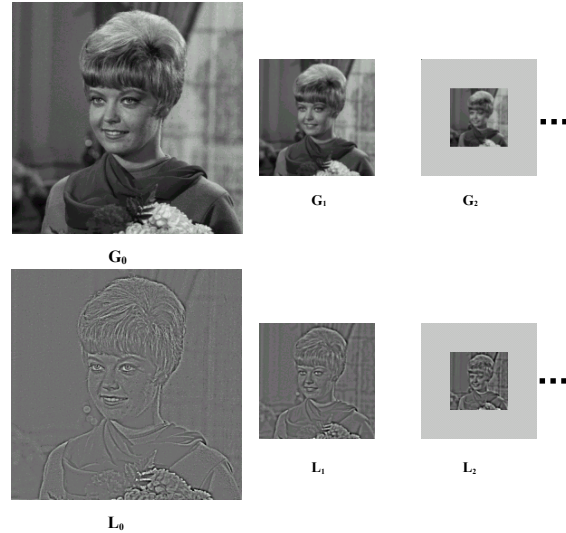


FIG. 2: Pyramides Gaussienne et Laplacienne d'une image en niveaux de gris.

- [7] P. Burt and E. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 31, no. 4, pp. 532-540, 1983.
- [8] F. Kretz, "Subjectively optimal quantification of pictures," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 25, pp. 1288-1292, 1975.
- [9] K. Belkacem-Boussaid, Exploitation des mécanismes rétino-corticaux pour l'élaboration d'outils de traitement d'images bas niveau. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 1997.
- [10] K. Belkacem-Boussaid and A. Beghdadi, "A new image smoothing method based on a simple model of spatial processing in the early stages of human vision," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, pp. 220-226, 2000.
- [11] P. Perona, J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion", *Patt. Anal. Mach. Intell.*, vol. 12, no. 7, pp. 629-639, 1990.

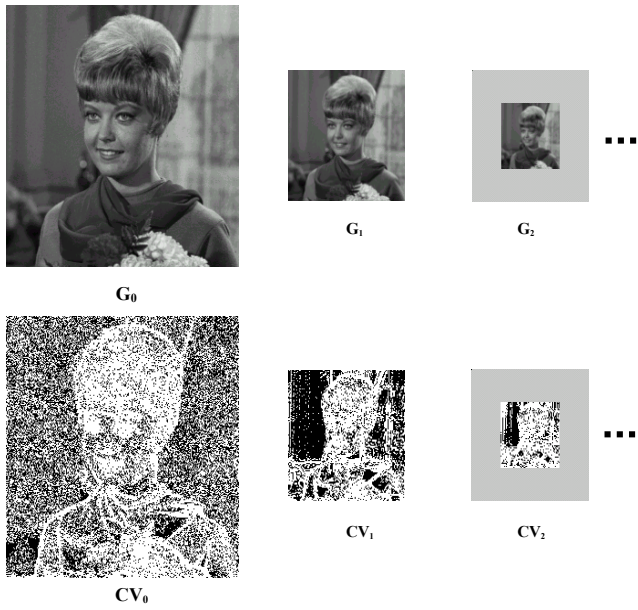


FIG. 3: Images de la pyramide Gaussienne et les cartes de visibilité correspondantes.



FIG. 5: Reconstruction de l'image par filtrage perceptuel avec différentes valeurs de  $C_w$ .

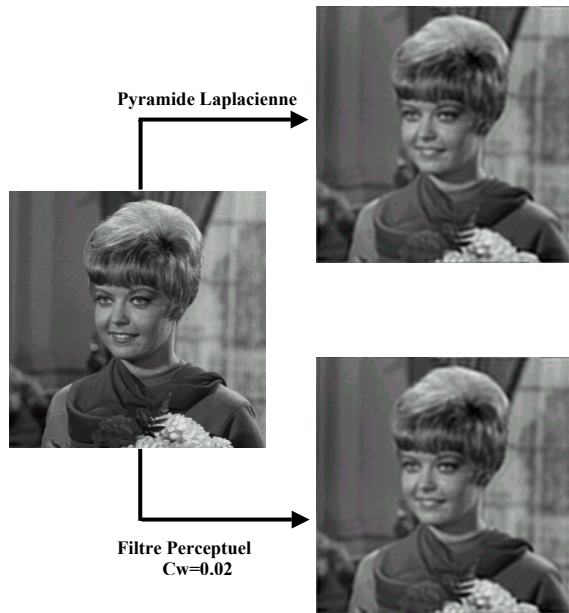


FIG. 4: Comparaison de la reconstruction par pyramide Laplacienne et par filtrage perceptuel ( $C_w = 0.02$ ).