

UNE TRANSFORMATION NON LINEAIRE DE L'HISTOGRAMME
DES NIVEAUX DE GRIS POUR LA SELECTION AUTOMATIQUE
DE SEUILS EN SEGMENTATION D'IMAGES.

Christian ROBE
Jack Gerard POSTAIRE

Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois
Centre d'Automatique - 59655 Villeneuve d'Ascq.

RÉSUMÉ

Résumé: Lorsque l'histogramme des niveaux de gris des points d'une image possède un mode unique, les techniques classiques de segmentation par seuillage d'histogrammes sont généralement mises en défaut. Nous proposons une technique de transformation non linéaire de l'histogramme qui va faciliter le placement automatique de ces seuils.

1) INTRODUCTION.

Mathématiquement, une image est définie comme une fonction de deux variables x et y /1/. Cette fonction $I(x,y)$ représente le niveau de gris de l'image au point de coordonnées x et y . Une image numérique peut alors être définie sur un réseau de points échantillonnés dont les coordonnées appartiennent à l'ensemble N des entiers naturels. Les niveaux de gris $I(x,y)$ associés à ces points sont quantifiés sur N valeurs régulièrement espacées appartenant à l'ensemble $G = \{g_1, g_2, \dots, g_N\}$.

$$I : \begin{matrix} N \times N & \text{-----} & \rightarrow & G \\ (x,y) & \text{!-----} & \rightarrow & g_i \end{matrix}$$

L'analyse de l'ensemble des points d'une image dont chaque niveau de gris peut être quantifié sur N valeurs discrètes est généralement trop longue. Afin d'accélérer les procédures d'analyse de l'image, on est amené dans une phase de prétraitement, à réduire le nombre de niveaux de quantification des niveaux de gris. Ainsi, une image codée sur deux niveaux $\{g_1, g_2\}$ est appelée une image binaire. Une image codée sur plusieurs niveaux $\{g_1, g_2, \dots, g_p\}$ avec $p \ll N$ est appelée image segmentée. La segmentation de l'image constitue, par conséquent, une extension à plusieurs niveaux de la procédure simple de binarisation de l'image.

Mais la réduction du nombre des niveaux de gris ne se fait pas de manière empirique. Elle doit être réalisée de manière à éliminer les informations redondantes ou sans intérêts dans l'image pour ne conserver que les informations essentielles. L'analyse de la fonction de densité de probabilité $h(g_i)$ qui indique le nombre de points de l'image I qui possèdent le niveau de gris g_i peut conduire à la détermination des seuils de segmentation /2/. En effet, considérons le cas favorable d'une image sombre contenant un objet clair de surface moitié de la surface totale de l'image. La fonction de densité de probabilité $h(g_i)$ sera alors constituée de deux modes significatifs séparés

ABSTRACT

Abstract: When the grey levels histogram of an image has a unique mode, the classical techniques of segmentation by histogram thresholding are generally not working. We propose a non linear technical transformation of histogram that will lead to the automatic placement of these thresholds.

par une vallée large et profonde. Placer le seuil de binarisation au creux de cette vallée permet alors de séparer, sans ambiguïté, les points de l'image appartenant à l'objet de ceux appartenant au fond. Mais ce cas d'école ne se présente que très rarement pour les images de scènes réelles. Généralement, la présence de plusieurs objets de teintes différentes, les défauts d'éclairage ou de réflectance font que l'analyse de la fonction de densité de probabilité ne peut conduire à la détermination des seuils recherchés. Il faut alors avoir recours à des techniques de transformations des histogrammes des niveaux de gris.

2) TECHNIQUE DE TRANSFORMATION DES HISTOGRAMMES.

Les vallées des histogrammes sont généralement comblées par les occurrences de points dont les niveaux de gris se situent entre le niveau de gris moyen des points de l'objet et le niveau de gris moyen des points du fond de l'image. Afin de creuser la vallée, MASON et al. /3/ proposent de pondérer le niveau de gris de chaque point par une fonction de la valeur du gradient calculé dans le voisinage immédiat de celui-ci. Les points qui composent l'objet et le fond de l'image ont généralement des valeurs de gradient faibles et se verront attribuer une pondération proche de l'unité. Les points situés sur les contours ont des valeurs de gradient élevées et se verront attribuer une pondération voisine de zéro. Le poids affecté à chaque point de l'image est calculé de la manière suivante:

$$p_{xy} = \frac{1}{1 + \Delta_{xy}}$$

où Δ_{xy} est une mesure du gradient au point de coordonnées (x,y) dans l'image.

KATZ /4/ propose une solution qui est duale de la précédente. KATZ suggère de calculer l'histogramme des points



ayant une valeur de gradient élevée. L'histogramme des points à forts gradients sera alors constitué d'un pic unique situé à un niveau de gris intermédiaire entre le niveau de gris moyen du fond et le niveau de gris moyen de l'objet dans l'image. Placer le seuil au niveau du sommet du pic permet en général de séparer de manière assez satisfaisante les objets du fond de l'image.

3) TRANSFORMATION NON LINEAIRE DE L'HISTOGRAMME PAR ANALYSE DU MODULE DU GRADIENT.

Les points qui appartiennent à un même objet présentent, en générale, des variations de niveaux de gris assez faibles. Par conséquent, si un point d'un objet de l'image présente un niveau de gris g_i , il y a une forte probabilité pour que ses voisins immédiats présentent également le niveau de gris g_i ou un niveau de gris très proche de g_i . Cette probabilité a tendance à décroître en fonction de l'éloignement de ces voisins. A l'opposé, les points de contours associés aux différents objets de l'image présentent des variations de niveaux de gris plus importantes. Si un point de contour présente un niveau de gris g_i , il y a une faible probabilité pour que certains de ses voisins immédiats présentent également le niveau de gris g_i ou un niveau de gris proche de g_i . Cette propriété permet donc de différencier les points situés à l'intérieur des objets des points situés au niveau des contours de ces mêmes objets. Dans ce sens, nous proposons une autre méthode de transformation de l'histogramme qui va permettre d'accentuer de manière significative, la séparation des modes.

3-1) Présentation de la méthode.

L'histogramme des niveaux de gris peut être décomposé en la somme de l'histogramme des niveaux de gris des points à faible gradient /3/ et de l'histogramme des niveaux de gris des points à fort gradient /4/. Ainsi, pour chaque niveau de gris g_i , la probabilité d'apparition $h(g_i)$ de points de niveau de gris g_i dans l'image peut se mettre sous la forme suivante:

$$h(g_i) = h_{ft}(g_i) + h_{fb}(g_i)$$

où $h_{ft}(g_i)$ représente la probabilité d'apparition de points à fort gradient et $h_{fb}(g_i)$, la probabilité d'apparition de points à faible gradient.

Les points de niveau de gris g_i qui appartiennent à l'intérieur des objets sont caractérisés généralement par un terme $h_{fb}(g_i)$ plus élevé et par un terme $h_{ft}(g_i)$ plus faible. A l'inverse, les points de niveau de gris g_i qui appartiennent aux contours de ces mêmes objets sont caractérisés par un terme $h_{fb}(g_i)$ plus faible et par un terme $h_{ft}(g_i)$ plus élevé. Il est donc intéressant, afin de mettre en évidence les propriétés photométriques de l'image, de considérer conjointement l'un et l'autre de ces deux histogrammes.

Nous proposons donc une nouvelle approche dans laquelle nous calculons, pour chaque niveau de gris g_i , le quotient de l'histogramme des points à faible gradient par l'histogramme des points à fort gradient. Ce nouvel histogramme, que nous baptiserons *histogramme quotient* $h_{qt}(g_i)$, est alors défini pour chaque niveau de gris g_i par:

$$h_{qt}(g_i) = \frac{h_{fb}(g_i)}{h_{ft}(g_i)} \quad \text{pour } i = 1, N$$

3-2) Seuil de discrimination entre les points à fort gradient et les points à faible gradient.

Afin de différencier les points à faible gradient qui constituent l'histogramme $h_{fb}(g_i)$ des points à fort gradient qui constituent l'histogramme $h_{ft}(g_i)$, un seuil est nécessaire. Ce seuil doit être placé de manière à ce que les termes $h_{qt}(g_i)$ aient un sens, c'est à dire de manière à ce que la somme des occurrences des points de niveaux de gris g_i à faible gradient soit comparable à la somme des occurrences des points de niveaux de gris g_i à fort gradient. L'expérience montre que dans une image, les occurrences de points qui possèdent des niveaux de gris g_i et g_j très différents (forts gradients) sont peu nombreuses comparées aux occurrences de points qui possèdent des niveaux de gris g_i et g_j proches (faibles gradients). Par conséquent, nous suggérons de donner au seuil du gradient la valeur 0, c'est à dire de diviser l'histogramme des points à gradient nul par l'histogramme des points à gradient non nul. Néanmoins, des résultats similaires peuvent être obtenus en donnant la valeur 1 au seuil du gradient.

3-3) Etude des propriétés de l'histogramme $h_{qt}(g_i)$.

La somme des occurrences des points de niveau de gris g_i à forts gradients et des occurrences des points de niveau de gris g_i à faibles gradients est égale à la somme totale $h(g_i)$ des occurrences de points de niveau de gris g_i dans l'image. Par conséquent, le terme général $h_{qt}(g_i)$ du nouvel histogramme peut se mettre sous la forme suivante:

$$h_{qt}(g_i) = \frac{h_{fb}(g_i)}{h(g_i) - h_{fb}(g_i)}$$

$$\text{avec } h(g_i) = h_{fb}(g_i) + h_{ft}(g_i)$$

Lorsque $h_{fb}(g_i)$ se rapproche de zéro, c'est à dire lorsque les points de niveau de gris g_i ont, en majorité un gradient élevé, le terme générale $h_{qt}(g_i)$ tend vers zéro. A l'inverse, lorsque $h_{fb}(g_i)$ se rapproche de $h(g_i)$, c'est à dire lorsque les points de niveau de gris g_i ont, en majorité un gradient très faible, le terme $h_{qt}(g_i)$ tend vers l'infini. La figure n° 1 donne l'allure générale des variations de $h_{qt}(g_i)$ pour g_i fixé, et pour $h_{fb}(g_i)$ variant de 0 (aucun point de niveau de gris à gradient faible) à $h(g_i)$ (tous les points de l'image de niveau de gris g_i à gradients faibles).

analyse du terme
général $h_{qt}(g_i)$

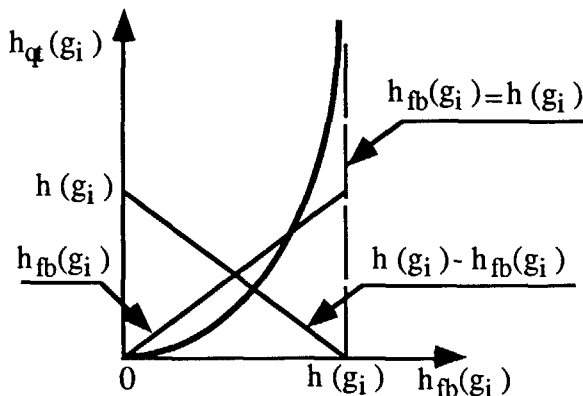


FIGURE n°1

Le comportement asymptotique du terme $h_{qt}(g_i)$ est à comparer aux comportements linéaires du numérateur $h_{fb}(g_i)$ et du dénominateur $[h(g_i) - h_{fb}(g_i)]$, qui sont respectivement le terme général de l'histogramme transformé par la technique de MASON /3/ et le terme général de l'histogramme transformé par la technique de KATZ /4/. Cette non linéarité est la caractéristique essentielle de cette nouvelle technique de transformation de l'histogramme. Elle accentue le contraste entre les points qui appartiennent aux objets et pour lesquels le terme $h_{fb}(g_i)$ est grand ($h_{fb}(g_i)$ est proche de $h(g_i)$) et les points qui appartiennent aux contours de ces mêmes objets et pour lesquels le terme $h_{fb}(g_i)$ est plus petit ($h_{fb}(g_i)$ est proche de zéro). Les modes de ce nouvel histogramme sont ainsi mieux séparés, les vallées plus profondes, ce qui permet de fiabiliser les techniques de seuillage des images par analyse de l'histogramme de leurs niveaux de gris.

3-4) Résultats expérimentaux.

Afin de montrer les performances de la méthode, nous avons appliqué la transformation non linéaire à l'histogramme unimodal de la figure n° 2. Nous avons choisi un histogramme unimodal car les techniques classiques de seuillage d'histogrammes sont généralement mise en défaut dans de telles situations. La figure n°3 présente finalement l'histogramme quotient $h_{qt}(g_i)$, résultat de la transformation de l'histogramme en niveaux de gris par cette nouvelle technique. L'étude de ce nouvel histogramme permet alors de placer intuitivement trois seuils aux positions respectives S1, S2 et S3.

On peut également remarquer que l'histogramme quotient présente un aspect discontinu et très irrégulier. Les brusques variations d'intensité entre deux niveaux de gris proches ou consécutifs expriment en fait, une grande sensibilité aux variations de niveaux de gris des points dans l'image liée à la non linéarité et au comportement asymptotique des termes $h_{qt}(g_i)$.

4) CONCLUSION

Plus riche et plus complet que l'histogramme des niveaux de gris, l'histogramme quotient va, par conséquent, permettre de fiabiliser les procédures classiques de segmentation par seuillage d'histogramme.

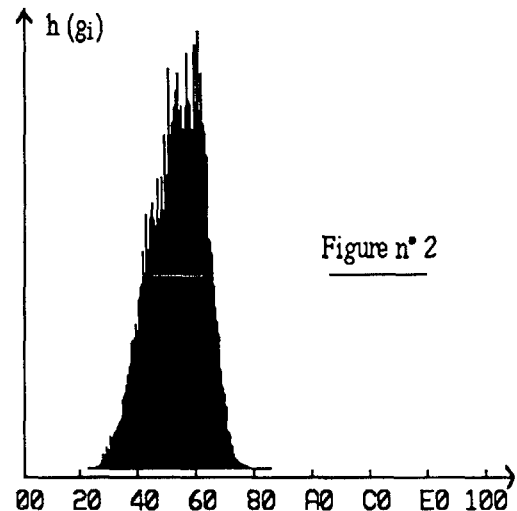


Figure n° 2

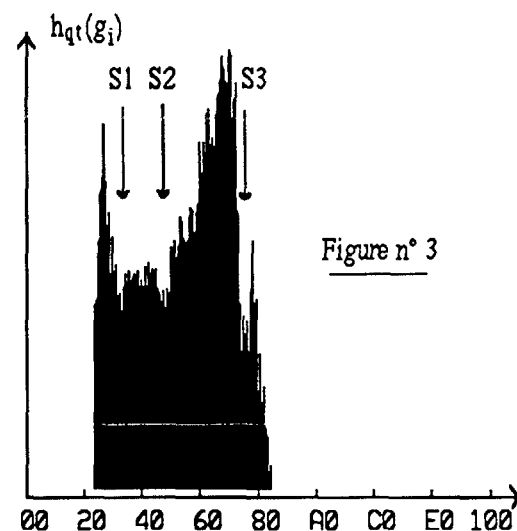


Figure n° 3

Références:

- /1/ A.Rosenfeld and A.C. Kak, Digital Picture Processing. New York: Academic 1976.
- /2/ J.M.S Prewitt and M.L. Mendelshon, "The analysis of cell images", Annals N.Y.Acad.Sci. 128, pp. 1035-1053, 1966.
- /3/ D. Mason, I. Lauder, D. Rutovitz and G. Spowart, "Measurement of C_bands in Human Chromosomes", Comput. Biol. Med. 5, 1975, pp.179-201.
- /4/ Y.H.Katz, "Pattern recognition of meteorological satellite cloud photography", Proc. Third Sym on Remote Sensing of Environment, Institute of Science and Technologie, University of Michigan, feb. 1965, pp. 173-214.