

Utilisation des statistiques d'ordres supérieurs en contrôle qualité de détecteurs de rayons X

Frédéric MAUSSANG, Jocelyn CHANUSSOT

Laboratoire des Images et des Signaux (UMR CNRS 5083)
LIS / ENSIEG, Domaine Universitaire, BP 46, 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex, France
frederic.maussang@lis.inpg.fr, jocelyn.chanussot@lis.inpg.fr

Résumé – Nous proposons dans cet article une méthode de contrôle qualité pour les détecteurs de rayons X. Elle est basée sur les propriétés statistiques des images obtenues avec ce détecteur. Les Statistiques d'Ordres Supérieurs (SOS), et plus précisément le kurtosis (grandeur statistique d'ordre 4), sont utilisées sur ces images afin de mettre en évidence les régions d'intérêt susceptibles de contenir des défauts qu'un expert humain doit détecter rapidement. Les propriétés de ces petits éléments étant différentes de celles du fond de l'image, les SOS permettent d'extraire les régions correspondantes du reste de l'image. Les résultats ainsi obtenus (taille et amplitude des régions mises en évidence) aideront alors l'expert dans l'analyse des défauts.

Abstract – A quality control method for X-ray detector is proposed in this paper. The process is based on the statistical properties of the images obtained with this detector. Higher Order Statistics (HOS) tools, and more specifically the kurtosis (4th order statistical value), are used on these images in order to highlight the regions of interest likely to contain artifacts a human expert has to detect rapidly. The properties of these small structures being different from the background, HOS allow to extract the corresponding regions from the rest of the image. The results (size and amplitude of the highlighted regions) will help the expert to analyse the artifact.

1 Introduction

L'imagerie rayons X joue un rôle prépondérant dans de nombreuses applications (imagerie médicale, contrôle non destructif, ...). La plupart de ces applications sont critiques et ne laisse aucune place à l'erreur de diagnostique. Le contrôle qualité de ce type de détecteur doit donc utiliser le principe de "tolérance zéro". Afin de garantir les détecteurs sans défaut, les fabricants ont recours à de fastidieuses inspections visuelles effectuées par un expert en interprétation d'images. Nous proposons dans cet article de rendre ce contrôle plus rapide et plus simple en utilisant des outils de traitement des images basés sur les Statistiques d'Ordres Supérieurs (SOS).

Plusieurs articles ont déjà été écrits sur la qualité des images médicales, éventuellement après avoir subi une compression [1]. Certains d'entre eux proposent des méthodes de rehaussement des régions correspondant à des objets [2]. Mais, les Statistiques d'Ordres Supérieurs sont un puissant outil largement utilisé en traitement du signal [3], touchant des domaines aussi variés que l'astronomie, la communication, la sismique, ou le traitement de données radar et sonar. Par contre, les SOS ont plus rarement été utilisées en traitement d'images et, à notre connaissance, la littérature est limitée à quelques articles dans ce domaine. Par exemple, Jacovitti [4] a proposé une application des SOS à la décomposition d'images, la déconvolution aveugle, le codage et la reconnaissance de formes. Carrato et Ramponi [5] ont présenté une méthode d'extraction de contours en utilisant le skewness (statistique d'ordre 3) sur des images. Dans des études précédentes [6], l'utilisation des SOS en imagerie sonar à antenne synthétique a également été testée, aboutissant à un rehaussement des échos réfléchis par les objets présents dans le fond marin.

La méthode de contrôle qualité est ici basée sur le kurtosis

(grandeur statistique d'ordre 4). Pratiquement, le kurtosis est évalué localement sur une fenêtre de calcul carrée, cette fenêtre parcourant entièrement l'image produite par le détecteur de rayons X fonctionnant à vide (aucun objet présent entre l'émetteur et le détecteur). Les défauts ont des propriétés statistiques différentes de celles du fond bruité de l'image et apparaissent alors distinctement sur l'image du kurtosis. L'objectif de la méthode proposée est alors de sélectionner automatiquement des régions d'intérêt (c'est-à-dire des régions susceptibles de contenir des défauts) et d'attirer l'attention de l'expert, la décision finale restant de son ressort. Ces défauts sont des marques ou des points correspondant à des variations d'amplitude du signal non désirées liées à la structure même du détecteur.

Cet article se présente comme suit : les propriétés statistiques des images rayons X sont étudiées dans la partie 2. La partie 3 détaille les propriétés intéressantes des SOS et leur utilisation dans le contrôle qualité de ces images. Enfin, la méthode présentée est testée sur différentes parties d'images réelles obtenues à partir d'un détecteur de rayons X.

2 Propriétés statistiques des images

2.1 Modèle statistique du fond

Les images obtenues à partir d'un détecteur de rayons X sont généralement bruitées. Par exemple, les figures 4 et 7 présentent deux régions différentes d'une image rayons X. La variabilité d'amplitude due au bruit y est visible (voir les figures 6 et 9 comme versions égalisées des figures respectives 4 et 7). De plus, le signal est non stationnaire : la valeur moyenne du fond connaît de lentes variations, certaines régions devenant plus claires que d'autres. Par exemple, la figure 4 correspond à une

région plus claire que la figure 7. Cet effet est également mis en évidence par une égalisation et l'on peut remarquer une lente variation de la valeur moyenne entre les côtés gauche et droit de la figure 9. En conséquence, le modèle statistique du fond doit être estimé localement. On suppose habituellement que le bruit de fond d'une image rayons X suit une loi de Poisson. Ce modèle converge rapidement vers une distribution gaussienne de moyenne μ_B et de variance σ_B^2 , de densité de probabilité :

$$\mathcal{G}_B(B) = \frac{1}{\sigma_B \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(B - \mu_B)^2}{2\sigma_B^2} \right\} \quad (1)$$

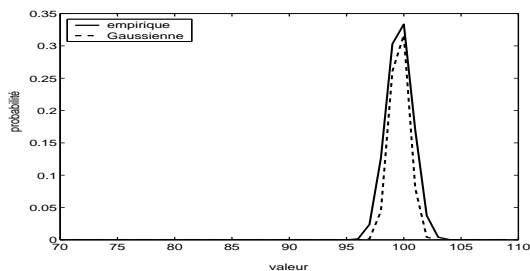


FIG. 1: histogramme et loi gaussienne estimée – partie claire

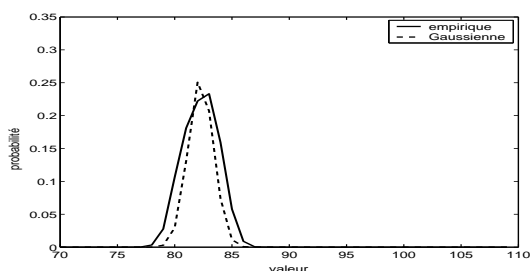


FIG. 2: histogramme et loi gaussienne estimée – partie sombre

TAB. 1: paramètres estimés et performance d'un modèle gaussien local

	partie claire	partie sombre
$\hat{\mu}_B$	99,62	82,27
$\hat{\sigma}_B$	1,126	1,542
d_{χ^2}	0,707	0,707
d_K	0,090	0,085

Les figures 1 et 2 représentent les histogrammes observés sur deux régions de taille 256×256 , respectivement dans des parties claires et sombres (trait continu). Elles représentent également les distributions gaussiennes estimées correspondantes (pointillés). D'après cette figure, nous pouvons dire que la distribution gaussienne est un bon modèle pour le fond bruité de l'image. Ceci est confirmé par le calcul des distances de Kolmogorov et des critères du χ^2 (tableau 1) [7] qui indiquent la même qualité de modélisation dans les deux parties de l'image. Cependant, la non stationnarité du signal réclame une estimation locale des paramètres du modèle, bien que le modèle reste gaussien sur toute l'image.

2.2 Défauts et Rapport Signal à Bruit (RSB)

Les images obtenues à partir du détecteur de rayons X comportent quelques défauts qu'un système de contrôle qualité doit détecter. Ces défauts apparaissent comme des groupes de pixels de petite dimension et de faible intensité qui peuvent être considérés comme des éléments déterministes d'amplitude A . Le Rapport Signal à Bruit (RSB) ρ peut alors être défini comme :

$$\rho = \frac{\mu_B - A}{\sigma_B} \quad \text{et} \quad \rho_{\text{dB}} = 20 \log_{10}(\rho) \quad (2)$$

3 Contrôle qualité utilisant les SOS

3.1 Propriétés des Statistiques d'Ordres Supérieurs

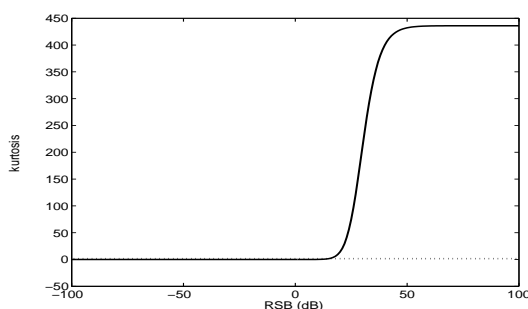


FIG. 3: kurtosis en fonction du RSB ρ ($p = 1/441$)

Les grandeurs les plus fréquemment utilisées en SOS sont le skewness (3e ordre) et le kurtosis (4e ordre) [3]. Dans cet article, nous nous intéressons essentiellement au kurtosis (des résultats similaires ont été obtenus avec le skewness). Si l'on note $\mu_{X(r)}$ le moment centré d'ordre r de l'échantillon X , la définition du kurtosis estimé sur X est donnée par :

$$\mathcal{K}_X = \frac{\mu_{X(4)}}{\mu_{X(2)}^2} - 3 \quad (3)$$

Le kurtosis mesure l'étalement de la distribution des valeurs relativement à une loi gaussienne. Une propriété clé est sa nullité pour une distribution normale.

Le kurtosis est alors évalué sur une fenêtre glissante carrée (21×21 ici), le pixel courant étant le centre de la fenêtre. Le choix de la taille de cette fenêtre est un compromis : une petite taille permet de considérer le fond comme stationnaire et donne avec précision la localisation des défauts, mais elle augmente la variance de l'estimateur du kurtosis. Par contre, une grande taille permet de limiter cette variance, mais rend l'hypothèse de stationnarité moins valable.

Soit $p \in [0, 1]$ la proportion de pixels déterministes (défauts) dans la fenêtre de calcul. $(1 - p)$ est alors la proportion de valeurs aléatoires (pixels appartenant au fond bruité gaussien). Nous en déduisons alors l'expression du kurtosis \mathcal{K}_W estimé sur la fenêtre :

$$\mathcal{K}_W(\rho, p) = \frac{p}{1-p} \frac{(6p^2 - 6p + 1)\rho^4 + 6(2p - 1)\rho^2 + 3}{(p\rho^2 + 1)^2} \quad (4)$$

On peut remarquer que pour $p = 0$, nous obtenons un kurtosis nul, tous les pixels suivant une loi gaussienne.

La taille des régions recherchées étant faible (seulement de quelques pixels) relativement à celle de la fenêtre de calcul, nous nous intéressons essentiellement aux faibles valeurs de p . Pour illustrer le propos, nous considérons le cas extrême de $p = 1/(21 \times 21) = 1/441$, ce qui correspond au cas d'un seul pixel déterministe à l'intérieur de la fenêtre. La figure 3 montre que le kurtosis prend des valeurs élevées pour un RSB supérieur à environ 20dB. Un défaut étant une région déterministe avec une faible intensité (comparée à son voisinage proche), ceci entraîne des valeurs élevées pour le kurtosis. Pour un ρ tendant vers l'infini, le kurtosis (obtenu pour un pixel déterministe dans la fenêtre de calcul) peut être approché par $1/p$ (soit 441 pour une fenêtre 21×21) Par contre, si aucun défaut n'est présent, le kurtosis est proche de zéro (distribution gaussienne).

3.2 Résultats sur des données réelles

Dans cette partie, le kurtosis est estimé sur une fenêtre de calcul 21×21 sur deux parties différentes (de taille 256×256 pixels) d'une image réelle obtenue à partir d'un détecteur de rayons X.

La première image (figure 4) contient un petit défaut (un seul pixel, indiqué par le rectangle noir). La figure 5 présente l'image obtenue avec le kurtosis. Nous pouvons alors voir apparaître des valeurs élevées (proches de 441) sur un carré de taille 21×21 situé autour du pixel défectueux de l'image initiale. Ce résultat est en accord avec ce que nous avons vu précédemment. Etant donné le RSB élevé, le kurtosis s'élève à environ $441 = 21 \times 21$. Le défaut qui était peu visible sur l'image d'origine est alors mis en évidence sur l'image du kurtosis, la région correspondante étant plus visible et de valeur beaucoup plus élevée comparée au voisinage proche de zéro. L'attention de l'expert sera alors immédiatement attirée et celui-ci pourra restreindre son analyse à la région délimitée par le cadre qui apparaît sur l'image du kurtosis. On peut remarquer que le kurtosis est très faible sur toute l'image exceptée la région susceptible de contenir un défaut. En effet, le fond étant localement gaussien, le kurtosis est proche de zéro quelles que soient la moyenne et la variance du fond de l'image.

La deuxième image contient un défaut de plus grande taille, indiqué par le rectangle noir sur la figure 7, avec un RSB plus faible (le défaut apparaît avec un contraste moins élevé et le fond est plus sombre – regarder la version égalisée de l'image d'origine sur la figure 9). L'image du kurtosis correspondante (figure 8) montre une forme rectangulaire autour du défaut. Ceci est dû au résultat obtenu dans le paragraphe 3.1 : la taille de la région de valeurs élevées correspond à la taille de région déterministe ajoutée à la taille de la fenêtre de calcul. Si on considère n_D comme étant la longueur (respectivement la largeur) de la région déterministe, et n_F le côté de la fenêtre de calcul, de forme carrée ($n_F \times n_F$), la longueur (respectivement la largeur) de la forme rectangulaire résultante sera :

$$n_R = n_D + n_F - 1 \quad (5)$$

Dans notre cas, le défaut est d'environ 5×3 pixels et le rectangle résultant est d'environ 25×23 ($21 + 5 - 1$ pour la longueur, et $21 + 3 - 1$ pour la largeur). L'attention de l'expert sera

à nouveau attirée et celui-ci pourra restreindre son analyse à la région ainsi délimitée.

4 Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une méthode de contrôle qualité de détecteurs de rayons X. Basée sur l'utilisation des Statistiques d'Ordres Supérieurs, elle a pour but de simplifier et d'accélérer l'inspection visuelle habituellement réalisée par un expert humain. Le kurtosis permet de mettre en évidence les régions susceptibles de contenir des défauts sur l'image rayons X. Les résultats obtenus sont très prometteurs : l'estimateur SOS est parfaitement adapté à la détection de changements de propriétés statistiques (concrètement, la non gaussianité provoquée par les défauts) et l'analyse de l'expert sera dorénavant limitée à quelques régions d'intérêt définies par les structures entourant toute région susceptible d'être un défaut. De plus, la taille de cette structure et son intensité donne des informations sur la taille du défaut potentiel et le RSB correspondant. Ceci pourra être utile dans le diagnostic de l'expert.

De plus, il semble possible d'utiliser cette méthode en analyse d'images cliniques. Ceci permettrait de mettre en évidence certaines structures caractéristiques de ces images (par exemple, les micro-calcifications en mammographie, ...) afin d'aider le médecin dans son diagnostic.

Références

- [1] P. C. Cosman, R. M. Gray et R. A. Olshen, "Evaluating quality of compressed medical images: SNR, subjective rating, and diagnostic accuracy," *Proceedings of the IEEE*, vol. 82, no. 6, pp. 919 – 932, Juin 1994.
- [2] K. F. Kamm, "The quality of digital X-ray images", *Medicamundi*, vol. 38, no. 2, pp. 111 – 116, 1993.
- [3] J.-L. Lacoume, P.-O. Amblard et P. Comon, *Statistiques d'ordre supérieur pour le traitement du signal*, Masson, Paris, France, 1997, ISBN 2-225-83118-1, http://www.lis.inpg.fr/pages_perso/bidou/livreSOS.html.
- [4] G. Jacovitti, "Applications of higher order statistics in image processing," in *Proc. of International Signal Processing workshop on Higher Order Statistics*, Chamrousse, France, Juillet 1991, pp. 241 – 247.
- [5] S. Carrato et G. Ramponi, "Edge detection using generalized higher-order statistics," in *Proc. of IEEE Signal Processing Workshop on Higher Order Statistics*, South Lake Tahoe, Californie, USA, Juin 1993, pp. 66 – 70.
- [6] F. Maussang, J. Chanussot et A. Hébet, "On the use of higher order statistics in SAS imagery," in *Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP'04)*, Montréal, Québec, Canada, Mai 2004, vol. 5, pp. 269 – 272.
- [7] G. Saporta, *Probabilités. Analyse des données et statistique*, Technip, Paris, France, 1990.

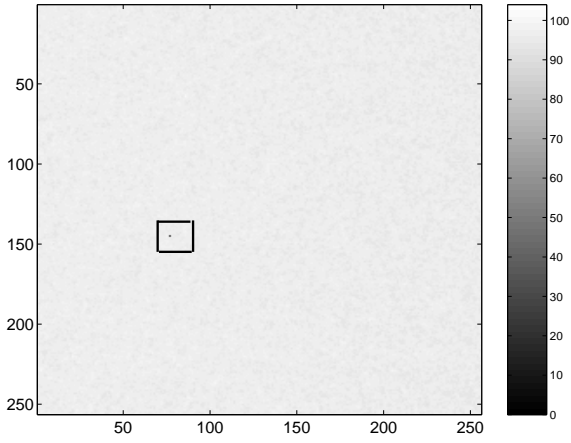


FIG. 4: première image : partie contenant un petit défaut

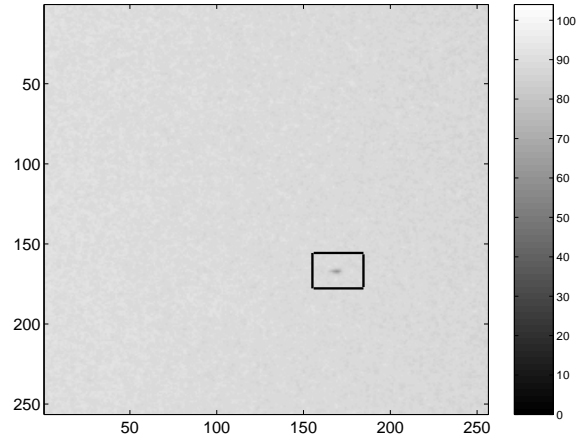


FIG. 7: deuxième image : partie contenant un plus grand défaut

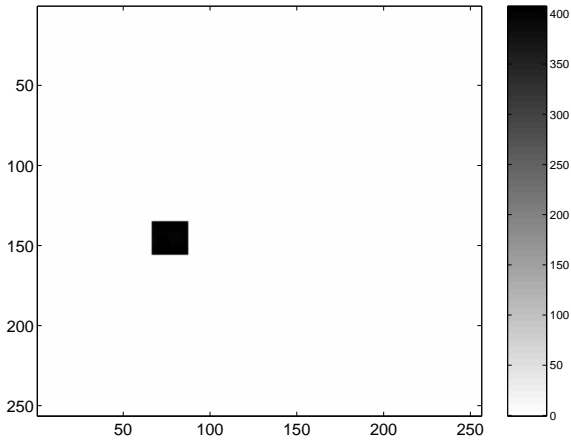


FIG. 5: kurtosis estimé sur une fenêtre 21×21 sur la première image

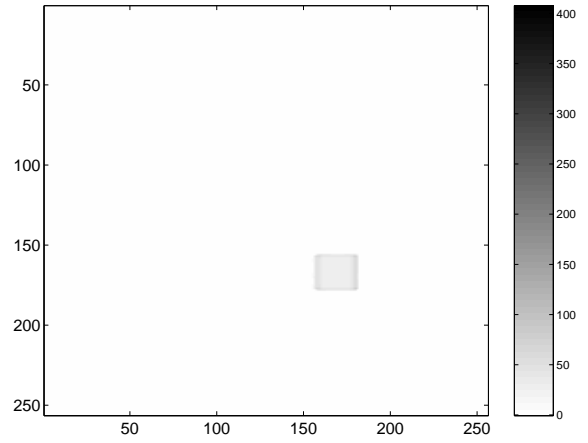


FIG. 8: kurtosis estimé sur une fenêtre 21×21 sur la deuxième image

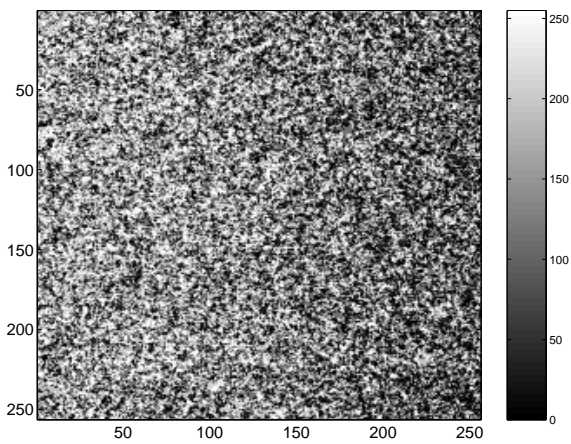


FIG. 6: première image après égalisation

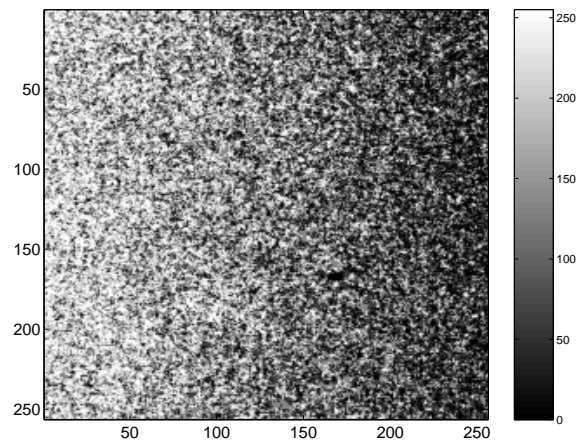


FIG. 9: deuxième image après égalisation