

Modélisation statistique d'une image Sonar après filtrage homomorphique

IMEN MANDHOUI^{1,2}, FRÉDÉRIC MAUSSANG¹, BASEL SOLAIMAN¹, HAMID AMIRI²

¹ Institut Mines-Télécom ; Télécom Bretagne

UEB ; CNRS UMR 6285 Lab-STICC/CID

Technopôle Brest-Iroise, CS 83818, 29238 Brest Cedex 3, France

² Laboratoire des Systèmes et du Traitement du Signal

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, BP 37

TN - 1002 Tunis Belvédère, Tunisie

¹imen.mandhouj@gmail.com, {frederic.maussang ; basel.solaiman}@telecom-bretagne.eu,

²hamidlamiri@gmail.com

Résumé – Ce travail est réalisé dans le cadre d'une étude statistique des résultats de prétraitement d'une image Sonar capturée par un Sonar à Antenne Synthétique (SAS). Compte tenu des propriétés physiques du milieu marin, et du fond marin, des défauts de luminances et de contraste et de la présence de speckle dans l'image SAS, une méthode de prétraitement basée sur le filtre homomorphique est développée pour corriger ces défauts. Des critères robustes pour évaluer les performances de la méthode proposée sont ensuite définis. Dans une étape postérieure de ce travail, une procédure d'étude statistique utilisant les variantes de différents tests statistiques est développée. Les tests de normalité exploitant les indicateurs numériques et graphique sont alors exploités pour évaluer l'adéquation de la distribution de l'image SAS obtenue à la loi normale.

Abstract – This paper is concerned with the problem of statically study of pre-processed Synthetic Aperture Sonar (SAS) images. Given the physical properties of the marine environment, luminance and contrast defects and the presence of speckle in the SAS image, a pretreatment method based on homomorphic filter is developed in order to correct these imperfections. Considering its proprieties, we propose to perform the homomorphic filter on the sonar images, corrupted by speckle. Robust criteria are then defined to evaluate the proposed filtering method. As a next process of this work, a statistical study procedure enclosing different statistical tests variants is developed. Normality tests are exploited in the following step of this work. This involves the exploitation of the usual indicators of normality and graphical methods to assess filtered SAS image adequacy to the normal distribution.

1 Introduction

Plusieurs études se sont intéressées à la détection d'objets à l'aide d'un système acoustique. Le Sonar à Antenne Synthétique (SAS) est caractérisé par son excellente résolution (de quelques cm) [1], et les images ainsi obtenues sont alors d'un grand intérêt pour la détection et la classification des objets posés sur le fond marin ou enfouis dans les sédiments. Un exemple d'une image SAS d'une zone renfermant des objets totalement et partiellement enfouis est présenté dans Figure 1.

Néanmoins, en raison des propriétés du milieu sous-marin, les images sonars sont très bruitées, l'éclairage est non uniforme et les contrastes sont faibles, notamment à cause du speckle [2]. Plusieurs travaux de recherche ont été alors développés dans le cadre de prétraitement des images sonars pour améliorer les processus en aval, notamment la détection des objets enfouis dans le sédiment sous-marin [3].

Notre travail s'intéresse au problème de prétraitement des images obtenues au moyen d'un sonar à antenne synthétique (SAS). Compte tenu de ses propriétés, ce document propose une méthode de filtrage basée sur le

filtre homomorphique. Des critères d'évaluation pour notre méthode sont dans la suite définis afin de souligner l'apport de notre travail (section 2). Cette méthode est encore évaluée dans la deuxième partie de ce travail au moyen des tests statistiques et des tests d'hypothèses. Ainsi, nous procédons à chercher un bon modèle de représentation de l'image SAS après application du filtre homomorphique (section 3). Nous examinons l'adéquation de la distribution de notre image de test (image SAS) aux autres distributions statistiques notamment la loi normale, la loi de Rayleigh et loi de Weibull. Les différents tests d'hypothèses réalisés nous ont permis de comparer la distribution empirique de l'image Sonar (histogramme) à ces dernières distributions théoriques. Les résultats de calcul des performances basés sur les critères préalablement définis ont prouvé qu'un choix bien déterminé des paramètres de filtre homomorphique permet d'uniformiser de plus la luminance de l'image sonar et de diminuer également son contraste. Les résultats de modélisation statistiques et les différents tests statistiques réalisés ont ensuite permis de révéler une meilleure adéquation de notre image SAS à la loi normale. En conséquence, une étude de normalité

exploitant les critères usuels et graphiques de la loi normale est réalisée confirmant ainsi l'hypothèse de normalité (section 4). Ce résultat fournit alors un élément déterminant pour la détection et la classification qui suivront ce travail.

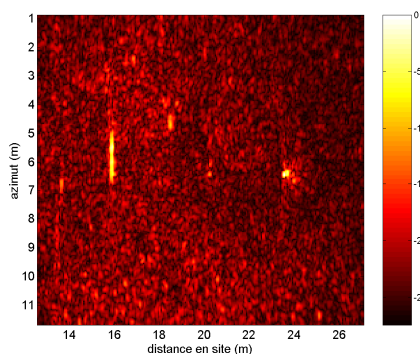


Figure 1 : Exemple d'une image SAS présentant des objets enfouis et posés sur le sédiment marin.

2 Filtrage homomorphique d'une image SAS

2.1 Méthode de filtrage

Le filtre homomorphique (H) est un filtre linéaire permettant d'atténuer les basses fréquences (luminosité du fond de l'image) et d'amplifier les hautes fréquences (luminosité des détails) [4].

L'expression de la fonction de transfert du filtre homomorphique est :

$$H(w_x, w_y) = (h-l)(1 - \exp(-\frac{w_x^2 + w_y^2}{2\delta_w^2})) + l \quad (1)$$

w_x et w_y étant les composantes fréquentielles du point de coordonnées (x,y) . La composante l représente le gain en basse fréquence donc la luminosité de l'image sonar. La composante h représente le gain en haute fréquence et δ_w représente la fréquence de coupure du filtre homomorphique.

Comme la fonction de transfert du filtre homomorphique est basée sur la précision des valeurs des paramètres l , h et δ_w , nous fixerons les valeurs de ces paramètres dans le cas d'une image SAS. De ce fait, notre méthode de filtrage est basée sur un choix des paramètres de filtre H permettant la correction des défauts de luminosité, tout en préservant les échos (points brillants) qui permettront la détection et la classification des objets présents. Une condition nécessaire pour le choix des paramètres du filtre H est :

$$\lambda < 1, \quad \eta > 1 \text{ and } \delta_w \geq 0 \quad (2)$$

En se basant sur cette condition, nous modifions les valeurs des composantes de fréquence afin d'obtenir les meilleures performances [5].

2.2 Critères d'évaluation du filtre H

Considérant qu'une image sonar contient des objets posés sur le fond ou enfouis dans le sédiment marin, nous travaillerons dans cette étape de travail à évaluer les performances de notre filtre dans la partie fond et la partie objet de l'image sonar. Une extraction de la partie d'intérêt (classe fond ou classe objet) est réalisée en utilisant une image vérité terrain. La définition des paramètres d'évaluation est réalisée en tenant en compte de la définition de contraste et de la luminosité dans une image numérique. Ainsi, nous définissons notre premier critère d'évaluation par la quantité suivante :

$$v = \frac{\text{var}(x_i)}{\text{var}(x_f)} \quad (3)$$

Où les x_i sont les pixels de l'image initiale et les x_f présentent les pixels de l'image filtrée dans le fond de l'image.

Ce critère nous permettra ainsi d'évaluer le lissage de la partie fond de l'image sonar.

En parallèle, nous définissons un critère pour évaluer la réservation des échos dans l'image sonar en calculant la quantité suivante :

$$d = \frac{|\sum x_{fe} - \sum x_{ie}|}{N_e} \quad (4)$$

Avec x_{fe} et x_{ie} correspondent aux pixels de la classe échos respectivement dans l'image initiale et filtrée. N_e est la taille en pixels de la partie objet de l'image sonar.

Un exemple de calcul de ces deux critères d'évaluation pour un échantillon de deux images SAS est présenté dans le tableau Tab1. Cet exemple révèle une préservation des échos pour le cas de image1 (faible valeur de d) et un bon lissage du fond pour le cas de l'image 2 (v moyennement importante).

Les résultats de notre méthode de filtrage proposée sont également évalués par les calculs statistiques et les tests d'hypothèses. Ainsi, dans la suite de notre travail, nous nous sommes préoccupés par la modélisation statistique du résultat du filtrage pour sa comparaison avec la distribution empirique de l'image SAS.

Tab 1 : Evaluation de la méthode de filtrage pour un échantillon de deux images SAS.

	Variance v	Distance d
image1	3,87	0,176
image 2	85	0,48

3 Tests d'hypothèse et analyse des résultats obtenus

L'obtention du meilleur modèle statistique de l'image SAS filtrée est l'objectif de cette étape du travail. Différents tests d'hypothèses [6] sont alors

réalisés sur une base des images SAS toutes filtrées par le filtre homomorphique avec les valeurs des paramètres définis selon la partie précédente. Pour chaque type de test d'hypothèse réalisé (test de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk, test de Cramer, test du χ^2, \dots), nous admettons que l'hypothèse nulle consiste à l'affirmation que notre échantillon de test suit la distribution donnée. Nous calculons aussi la probabilité de rejet à tort l'hypothèse nulle pour un risque $\alpha=5\%$. Nous appelons cette probabilité *p-valeur*. Les résultats de cette étude nous amènent à comparer pour chaque test la distribution empirique de notre image à la fonction de répartition estimée.

Un exemple de test de Cramer réalisé sur un échantillon d'images SAS filtrées par le filtre H est présenté dans le tableau Tab2.

Tab 2 : Résultats de calcul de p-valeur pour le test de Cramer appliqué sur l'image SAS

	Image initiale	Image filtrée
P-valeur	$8,2808 \times 10^{-6}$	$7,4522 \times 10^{-4}$

Le test de Cramer admet comme hypothèse nulle que l'échantillon de départ suit la loi normale avec une moyenne nulle et un écart type =1. L'hypothèse H1 est l'inverse de H0. La distance de Cramer ainsi trouvée garantit l'adéquation de l'image filtrée à la distribution statistique normale pour le même risque α .

Afin de mettre l'accent sur l'apport de la méthode de filtrage, nous réalisons une comparaison entre la fonction de répartition empirique de l'image initiale et l'image filtrée. Un exemple de cette comparaison est présenté dans les figures Figure 2.a et la Figure 2.b.

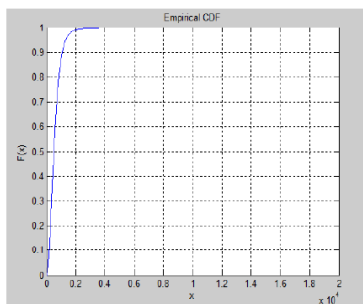


Figure 2.a : allure de la fonction de répartition empirique de l'image SAS initiale

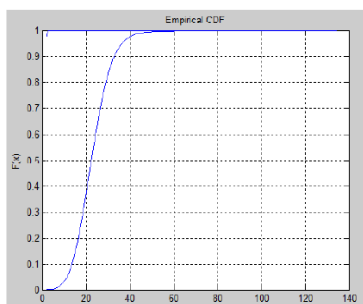


Figure 2.b : allure de la fonction de répartition empirique de l'image SAS après application de la méthode de filtrage

L'amélioration de p-valeur avant et après l'application de la méthode de filtrage pour les tests admettant l'hypothèse de normalité de l'image filtrée ainsi que l'allure de la fonction de répartition adjacente à la loi normale nous conduit à étudier la normalité de l'image SAS avec des autres approches d'étude de normalité.

4 Test de normalité : Méthodes empiriques et graphiques

Dans cette partie, nous nous intéressons aussi aux tests de compatibilité mais nous visons uniquement la loi normale. Il s'agit ici d'utiliser les indicateurs usuels (par exemple l'indicateur de normalité I) et graphique (droite de Henry) pour vérifier l'adéquation à la loi normale sans déterminer la distribution théorique la plus compatible à l'image filtrée.

4.1 Indicateur de normalité

Une caractéristique importante de la loi normale est la valeur du rapport entre l'écart absolu moyen (MAD) et l'écart-type [7]. Cette valeur est calculée comme suit :

$$I = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \approx 0,7979 \quad (5)$$

Le calcul de cet indicateur permet alors d'examiner l'écart de notre image de test à la loi normale. Une étude comparative entre la valeur de cet indicateur pour le cas d'une image SAS avant et après le filtrage homomorphique permet de prouver que suite à l'application du filtre H , l'indice de normalité se rapproche de sa valeur initiale I .

Ce résultat est démontré dans le tableau Tab3.

Tab 3 : Comparaison de la valeur de l'indicateur usuel de normalité I pour le cas de l'image SAS avant et après Application de la méthode de filtrage.

	Image initiale	Image filtrée
Valeur de I	0,5741	0,7442
Distance à la normale	0,2238	0,0537

Il paraît ainsi difficile de rejeter d'emblée l'adéquation de notre image filtrée à la loi normale. Ce résultat peut également être confirmé par le test des opérateurs graphiques de normalité.

4.2 Le Q-Q plot et la droite de Henry

Le « quantile-quantile plot » (Q-Q plot) est une technique graphique permettant dans le cas général de comparer les distributions de deux ensembles de données [8]. Pour étudier la normalité de notre échantillon, nous appliquons cette méthode dans le cas

particulier où nous admettons qu'un des ensembles des données est généré à partir de la loi normale.

L'application de l'algorithme de Q-Q plot nous permet de tracer la droite de Henry et de l'analyser.

Un exemple de tracer de la droite de Henry pour le cas d'un échantillon formé uniquement par un bruit de la loi de Weibull (simulant un fond marin imagé par un SAS) est représenté dans la Figure 3.a. L'allure de la courbe de Henry avant et après application du filtre H sur le même échantillon est représentée dans la figure 3.b.

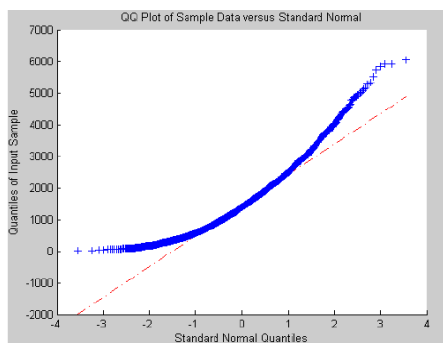


Figure 3.a : Q-Q plot de l'échantillon formé uniquement par des pixels de la distribution de Weibull après application du filtre H (l'échantillon est coloré en bleu et la normale est présentée par la droite rouge)

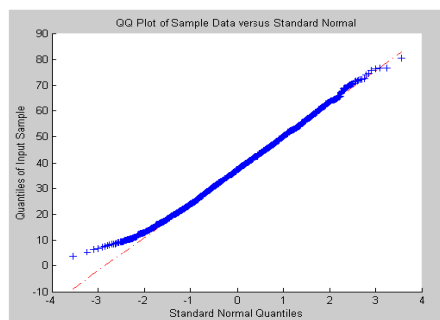


Figure 3.b : Q-Q plot de l'échantillon formé uniquement par des pixels de la distribution de Weibull après application du filtre Homomorphe.

Les allures des courbes de Henry obtenus pour les différents distributions (notamment la distribution de Weibull, de Rayleigh et la loi normale) présentent des valeurs plus alignés sur la diagonale principale de la courbe pour le cas des images filtrées affirmant ainsi la normalité de ces dernières.

5 Conclusion

Considérant la nature bruitée de l'image sonar, la non-uniformité de l'éclairage et son faible contraste, notre but dans ce papier est la correction de ces distorsions pour le cas de l'image SAS en se servant des propriétés du filtre homomorphe. Le prétraitement étant une étape importante qui peut influencer d'une manière fondamentale sur les prochaines étapes de détection de l'objet marin, nous ciblons alors dans notre travail l'utilisation optimale de notre filtre pour une

meilleure performance. La définition des critères d'évaluation des performances nous en permis non seulement d'évaluer notre méthode de filtrage mais aussi d'automatiser le choix des paramètres du filtre H pour le cas des images SAS. Ainsi ayant une approche de filtrage commune pour le cadre étudié, des tests statistiques différents sont mis en œuvre pour chercher le modèle statistique le plus adéquat de l'image résultat.

La comparaison entre image filtrée ou non, permet de confirmer l'hypothèse de normalité.

Vu l'apport de la normalisation, nous considérons ce résultat comme très important pour les prochains processus de la chaîne de détection, beaucoup d'algorithmes existant étant basés sur la gaussianité des données traitées.

REFERENCES

- [1] M. P. Hayes and P. T. Gough, "Synthetic Aperture Sonar: A Maturing Discipline," in *Proc. 7th Eur. Conf. Underwater Acoust.*, Delft, The Netherlands, July 2004, pp. 1101–1106.
- [2] S. Bazeille, I. Quidu, L. Jaulin and J.-P. Malkasse, "Automatic Underwater Image Denoising," published in *CMM'06*, Brest, France, 2006.
- [3] F. Maussang, J. Chanussot, A. Hétet, "Segmentation automatique d'images sonar à antenne synthétique pour la détection d'échos de mines sous-marines", *Actes du 19e colloque GRETSI*, Paris, France, septembre 2003.
- [4] Aldebaro Klautau, "Multiplicative Homomorphic Processing and its Application to Image Enhancement", <http://speech.ucsd.edu/aldebaro>, March 2000, page 1.
- [5] I. Mandhouj, F. Maussang, B. Solaiman, H. Amiri, "Sonar Image Preprocessing Method based on Homomorphic Filtering," *Proc. of MTS/IEEE Oceans 2012*, Hampton Roads, VA, USA, October 2012.
- [6] Normardiah Mohd Racali, "Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors PDF", *Journal of Statistical Modelling and Analytics*, Vol. 3, No. 1, 21-33, 2011.
- [7] Hun Myoung Park, "Univariate Analysis and Normality Test Using SAS, Stata, and SPSS, *Ph. D. Thesis*, University Information Technology Services Center for Statistical and Mathematical Computing, Indiana University, 2008.
- [8] Yasici, B. and Yolacan, "A comparison of various tests of normality", *Journal of statistical Computation and Simulation*, Vol.77, No.2, pp. 175-183, 2007.