

ETUDE STATISTIQUE D'IMAGES SAR DE LA SURFACE DE LA MER

Yves DELIGNON, René GARELLO, Alain HILLION

Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne
Groupe Traitement d'Images - Département Mathématiques et Systèmes de Communication
BP 832 - 29285 BREST CEDEX - FRANCE

RÉSUMÉ

Les images obtenues par Radar à Ouverture Synthétique (ROS ou SAR) sont très riches en information. Le bruit de speckle inhérent à leur acquisition les rendent difficiles à exploiter. La connaissance du modèle stochastique des images de houle permet de caractériser leur texture et ainsi de les exploiter. Nous cherchons ici la distribution du niveau de gris des images radar. Les lois de Rayleigh, K, lognormale et de Weibull sont couramment citées dans les publications. La méthode des moments permet de déterminer la distribution parmi un grand nombre de lois appartenant au système de Pearson. Chaque distribution sera représentée dans le graphe utilisée par cette méthode. Nous montrons par un test statistique que les lois obtenues par la méthode des moments s'ajustent mieux à l'histogramme de l'image SAR que celles postulées classiquement.

I Introduction

Le lancement de SEASAT-A en 1978 a été l'occasion d'un grand nombre d'études pour la description des images Radar à Ouverture Synthétique (ROS ou SAR en anglais).

Les images radar présentent une texture granulaire dont l'émission-réception cohérente est responsable. Ce bruit a été sujet à de nombreuses publications aussi bien en optique à lumière cohérente qu'en imagerie radar.

Afin d'exploiter au mieux les images, on utilise l'outil statistique pour les caractériser. Ainsi la détection de contour, de cibles, la segmentation ou la caractérisation de l'état de la mer sont autant de sujets utilisant des modèles statistiques des images.

Dans cet article, nous proposons une étude des lois proposées dans la littérature. Ces distributions sont obtenues par deux approches différentes.

La première consiste à faire des hypothèses sur la nature du terrain et la diffusion. On en déduit alors la loi de Rayleigh et la loi K. La loi de Rayleigh caractérise les textures homogènes et stationnaires dont le speckle est pleinement développé. La loi K, par contre, est proposée pour des zones hétérogènes telles les zones urbaines pour lesquelles le speckle est partiellement développé. Ces deux distributions seront le sujet de la première partie du second paragraphe.

Nous étudions ensuite les lois modélisant le niveau de gris des images radar sans faire d'hypothèses physiques sur la diffusion.

ABSTRACT

Synthetic Aperture Radar (SAR) content is very rich in information. The images contaminated by speckle noise are difficult to analyse. The stochastic model of the images is useful to characterize and to exploit them. This paper presents the possible laws of the grey level for the radar images of swell. In the literature, the Rayleigh, K, lognormal and Weibull distributions are often used. With the moment method we can determine the distribution of a sample among a great number of distributions belonging to the Pearson system. Each distribution is represented in the graph used in the latter method. It is shown using a goodness of fit test that the laws belonging to the Pearson system better fit the image histogram than the ones classically assumed.

Un grand nombre de distributions ont été proposées. Les travaux en détection ou simulation utilisent depuis plusieurs années la loi lognormale ou la loi de Weibull plutôt que d'autres (loi de Rice, du Chi-deux, ...). Nous faisons un bref rappel de ces deux lois. Nous poursuivons cette étude en utilisant la méthode des moments pour déterminer la loi suivie par le niveau de gris des images. Cette méthode permet d'obtenir la loi paramétrique d'un échantillon parmi un grand nombre de loi unimodales (loi gamma, loi du Chi-deux, lois bêta...). Nous étudions alors séparément la loi sélectionnée par les images SEASAT SAR 4 look.

Nous proposons au paragraphe 3 la représentation des lois de Rayleigh, K, lognormale et de Weibull dans le graphe utilisé par la méthode des moments.

Le dernier paragraphe est consacré aux résultats. Nous sélectionnons les lois théoriques par la méthode décrite au troisième paragraphe. Celles-ci sont ajustées à l'histogramme et testées par le test de Kolmogorov-Smirnov. Nous mettons en particulier en évidence la loi Beta comme distribution de la surface de la mer.

II Modèle statistique des images de mer

Ce chapitre est divisé en deux parties. Dans la première nous exposons brièvement les distributions obtenues en cherchant le modèle stochastique des images à partir d'hypothèses sur la nature de la surface observée et sur la diffusion. Dans la seconde partie,



nous considérons l'image comme un échantillon de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées. Après avoir exposé les lois couramment citées dans la littérature, nous proposons la méthode des moments pour obtenir la distribution du niveau de gris des images.

1 Détermination du modèle stochastique par la modélisation physique.

Nous supposons que le champ reçu par le radar est la somme d'ondes réfléchies par des diffuseurs répartis dans la cellule de résolution.

Les phases et les amplitudes de ces ondes sont des variables aléatoires indépendantes. On suppose que la phase est équidistribuée entre 0 et 2π . Cette hypothèse est justifiée car la cellule de résolution est grande par rapport à la longueur d'onde émise.

Le nombre de diffuseurs dans la cellule de résolution est une variable aléatoire indépendante et distribuée par la loi binomiale négative de paramètre α . Dans chaque cellule, on suppose qu'il existe un grand nombre de diffuseur

Enfin la surface illuminée est homogène, l'amplitude de chaque élément diffuseur est constante.

Jakeman [1] montra alors que pour de telles hypothèses, l'amplitude du champ reçu par le radar est distribué par la loi de Bessel modifiée de seconde espèce ou loi K:

$$p(A) = \frac{2 \cdot b}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{b \cdot A}{2} \right)^\alpha K_{\alpha-1}(b \cdot A) \quad (1)$$

où A est l'amplitude du champ reçu par le radar

b est le facteur d'échelle

α le facteur de forme et le paramètre de la loi binomiale négative

Pour α infini, les diffuseurs sont indépendants entre eux, le nombre de diffuseurs suit une loi de Poisson. L'amplitude du champ reçu est alors distribué par une loi de Rayleigh. Ce résultat est antérieur à la loi K [2]. La loi de Rayleigh donne de bons résultats pour des images de mer plate, ce qui s'explique par les hypothèses d'indépendance entre diffuseurs.

$$p(A) = \frac{A}{\sigma_e} \cdot \exp\left(-\frac{A^2}{\sigma_e^2}\right) \quad (2)$$

où σ_e est l'écart-type de A

Remarque :

De nombreuses études [3,4] ont permis de généraliser la loi K en supposant notamment que la phase n'est plus équidistribuée. Ces hypothèses étant irréalistes en imagerie radar, nous ne les avons pas exposées.

2 Loi lognormale, loi de Weibull, méthode des moments et loi bêta

Loi lognormale

Cette loi fut proposée pour la première fois en 1968 par Trunk et George [5] pour modéliser les images radar de mer dans le cadre de détection de cible. Depuis Frankot et Chellappa [6] l'utilisèrent pour synthétiser des images de mer.

$$p(x) = \frac{1}{(x-\alpha) \cdot \sqrt{2 \cdot \Pi \cdot \sigma_1^2}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{(\ln(x-\alpha) - m_1)^2}{\sigma_1^2} \right\}\right\} \quad (3)$$

où $x > \alpha$, $m_1 = E[\ln(x-\alpha)]$ et $\sigma_1^2 = \text{Var}(\ln(x-\alpha))$

L'ajustement de la loi lognormale à l'histogramme est obtenu en estimant pour une image les paramètres α , m_1 , σ_1 par la méthode des moments ou la méthode du maximum de vraisemblance.

Loi de Weibull

Le principal intérêt de cette loi réside dans sa flexibilité. Ainsi pour certaines valeurs de paramètres, on retrouve la loi exponentielle ($c=1$) et la loi de Rayleigh ($c=2$). Cette propriété explique l'utilisation qu'en font les statisticiens pour modéliser des échantillons de variables aléatoires exponentielles dont les critères de dépendance ne sont pas pleinement vérifiés. Depuis Goldstein en 1973 [7] jusqu'à Brook en 1990 [9] de nombreux articles ont été consacrés à la détection de cible sur l'océan en utilisant la loi de Weibull.

On a :

$$p(x) = \frac{c}{\alpha} \left\{ \frac{(x-\zeta)}{\alpha} \right\}^{c-1} \cdot \exp\left\{-\left\{ \frac{(x-\zeta)}{\alpha} \right\}^c\right\} \quad (4)$$

avec $x > \zeta$, $c > 0$ et $\alpha > 0$.

La méthode des moments et du maximum de vraisemblance permettent d'obtenir une estimation des paramètres c , α et ζ pour une image donnée.

Méthode des moments [10,11]

L'intérêt de cette méthode est de déterminer la loi unimodale suivie par un échantillon parmi les huit types de lois de Pearson. Ces familles comprennent la plupart des lois unimodales connues: loi normale, loi du chi-deux, loi gamma généralisée, lois bêta de première et de seconde espèce, loi exponentielle, loi de Cauchy, loi t....

Pour déterminer la loi suivie par le niveau de gris, on estime les paramètres β_1 et β_2 par la méthode des moments. Suivant la position du couple dans le graphe de Pearson (Fig 1), on détermine le type de loi suivi par l'échantillon.

Une fois déterminée, la loi est ajustée à l'histogramme en estimant ses paramètres par la méthode des moments.

$$\beta_1 = \text{Skewness}^2 = \frac{\mu_3^2}{\mu_2^3} \quad (5)$$

$$\beta_2 = \text{Kurtosis} = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} \quad (6)$$

μ_α est le moment centré d'ordre α de x

Loi bêta

La méthode des moments appliquée à 160 imagerie montrent que la distribution suivie par les images radar SEASAT ont leur niveau de gris distribué par une loi du système de Pearson de type I ou VI.

Ces lois correspondent aux lois bêta de première et de seconde espèce. Ces résultats exposés dans [11] a été le sujet d'une étude statistique des images radar de glace [12].

Loi bêta de première espèce :

$$p(x) = \frac{1}{B(p,q)} \frac{(x-a)^{p-1} (b-x)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}} \quad (7)$$

a et b définissent le support de x
p et q sont les paramètres de forme. $p > 0, q > 0$
 $B(.,.)$ est la fonction bêta.

Suivant les valeurs des paramètres p et q la loi bêta de première espèce a une forme en J,U ou en cloche. Cette souplesse rend cette loi intéressante pour approcher des histogrammes.

Loi bêta de seconde espèce :

$$p(x) = \frac{(a-b)^q (x-a)^{p-1}}{B(p,q) (y-b)^{p+q}} \quad (8)$$

$x > b > a$ et $p+q > 0$

Pour ces deux lois, on estime leurs paramètres par la méthode des moments.

III Représentation des lois de Rayleigh, K, lognormale, de Weibull et du système de Pearson dans le graphe (β_1, β_2)

A chaque loi paramétrique correspond une région dans le graphe (β_1, β_2) . Ainsi pour les distributions du système de Pearson, la loi normale, notée N, est représentée par un point, les lois de type II, III, V, VII par des droites et les distributions de types I, IV et VI par une aire.

Afin d'avoir accès sur ce graphe à toutes les lois que nous avons étudiées, nous représentons les lois de Rayleigh, K, lognormale et de Weibull sur ce même graphe. La position du couple (β_1, β_2) obtenue pour une image permet de connaître la loi à laquelle elle obéit.

Loi de Rayleigh et loi K

Afin de réduire la granularité sur les images radar, le processeur du SAR de SEASAT effectue un moyennage de quatre vues indépendantes. Le niveau de gris X s'écrit :

$$X = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |E_i|^2} \quad (9)$$

Si les $|E_i|$ suivent la loi de Rayleigh, la distribution suivie par le niveau de gris est représentée par un point dans le graphe.

Pour la loi K, l'opération de moyennage ne permet pas d'obtenir une expression analytique de β_1 et β_2 en fonction des paramètres α et b de la loi. Nous avons dû simuler les $|E_i|$ pour obtenir la ligne qui représente la loi suivie par le niveau de gris des images dont l'amplitude du champ reçu suit la distribution K. Nous constatons que cette ligne converge vers le point représentant la loi de Rayleigh pour α infini.

Loi lognormale, loi de Weibull et loi bêta.

La loi lognormale correspond dans (β_1, β_2) à une ligne incluse dans la région de type VI.

La loi de Weibull est représentée par une courbe chevauchant les régions de type I et VI.

Les lois bêta de première et de seconde espèce correspondent respectivement au type I et VI des distributions obtenues par la méthode des moments.

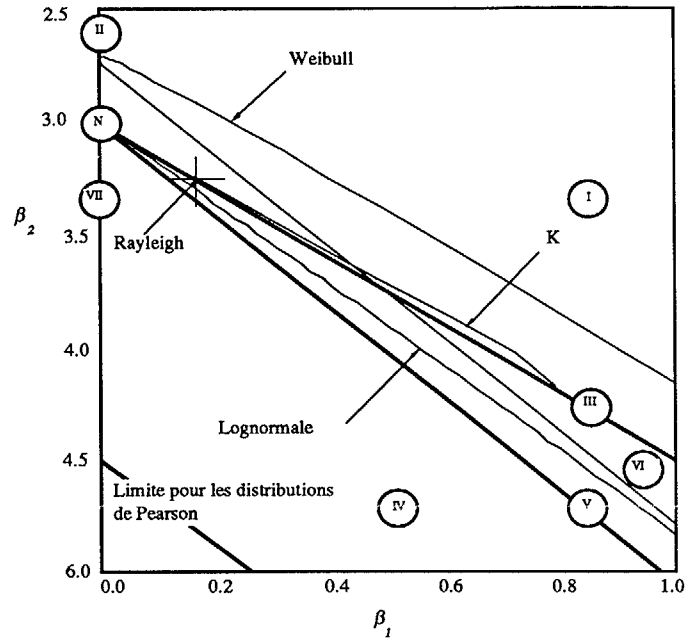


Fig 1 Représentation des lois de Rayleigh, K, lognormale, de Weibull et du système de Pearson dans le graphe (β_1, β_2)

IV Résultats

Afin de rendre l'analyse des résultats la plus complète et la plus claire possible, nous avons sélectionné cinq images. Leurs textures sont représentatives de celles rencontrées sur les images SAR de SEASAT. Ces images de taille 128×128 pixels sont codées sur 16 bits et sont le résultat d'un moyennage de quatre vues indépendantes (9). Leurs noms sont fonction de l'endroit où elles ont été prises.

Représentation des images dans le graphe (β_1, β_2)

Pour chacune d'elles, nous avons estimé (β_1, β_2) . Dans le graphe fig2, elles sont notées par une *. Sur ce graphe, nous constatons que quatre images sur cinq suivent une loi bêta de seconde espèce alors que la dernière obéit à une loi bêta de première espèce. L'ensemble formé par ces points n'est inclus dans aucune région propre aux distributions de Rayleigh, K, lognormale ou de Weibull. La distance entre le couple (β_1, β_2) et le couple propre à la loi de Rayleigh ainsi que la ligne K étant grande, nous en déduisons que ces lois ajustent mal les histogrammes.

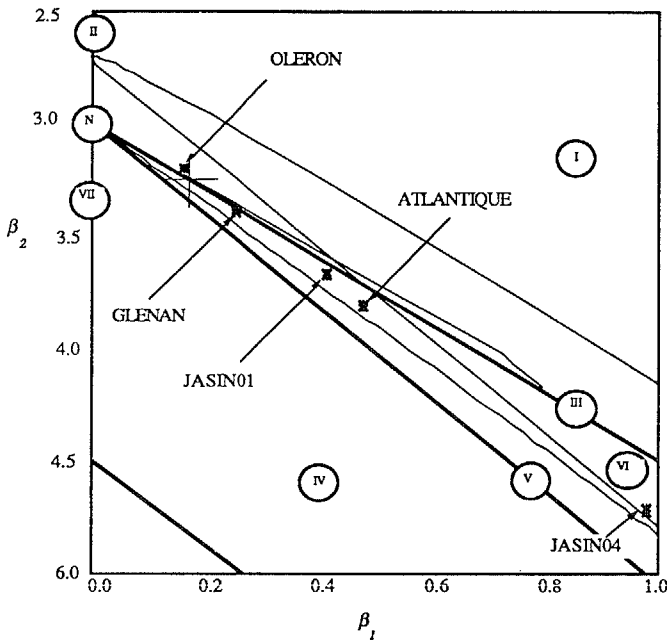


Fig 2 Représentation des histogrammes dans le graphe (β1,β2)

Test d'ajustement

Afin d'apprécier l'ajustement des lois théoriques à l'histogramme, on utilise le test de Kolmogorov-Smirnov.

Soit D_n la distance de Kolmogorov entre la fonction de répartition empirique F_n apparentée à l'échantillon et la fonction de répartition théorique F .

$$D_n = \sup_{x \in \mathbb{R}} |F_n(x) - F(x)| \text{ où } \mathbb{R} \text{ est le support du niveau de gris}$$

Si les fonctions de répartitions sont égales, on a :

$$P[\sqrt{n} \cdot D_n < x_\alpha] = 1 - \alpha \text{ où } \alpha \text{ est fonction de } x_\alpha.$$

Soient H_0 l'hypothèse où l'échantillon suit la distribution théorique fixée et H_1 l'hypothèse contraire. Pour tester l'hypothèse H_0 contre H_1 , on fixe un risque de première espèce α . On obtient x_α par les tables de Kolmogorov-Smirnov. Plus α est grand, plus l'écart entre les fonctions de répartitions est faible donc x_α petit. Le calcul de D_n permet d'accepter l'hypothèse H_0 ($\sqrt{n} \cdot D_n < x_\alpha$) ou de la rejeter ($\sqrt{n} \cdot D_n \geq x_\alpha$).

	LOGNORMALE	WEIBULL	BETA
OLERON	0.515	1.613	0.419
GLENAN	0.672	1.922	0.575
JASIN03	0.889	1.794	0.629
ATLANTIQUE	0.986	3.489	0.922
JASIN04	0.656	2.079	0.647

Tableau 1: $\sqrt{n} \cdot D_n$ entre les lois théoriques et les histogrammes des images

Pour que H_0 soit accepté pour toutes les images, il faut que $\alpha(\text{lognormale}) = 0.287$ $\alpha(\text{Weibull}) \approx 0$ $\alpha(\text{bêta}) = 0.372$. Ces résultats montrent que la loi bêta fournit les meilleurs ajustements. La loi lognormale approche aussi de manière satisfaisante les lois empiriques alors que la loi de Weibull ne correspond pas à la distribution du niveau de gris des images radar.

V Conclusion

Nous avons examiné les lois déduites par des hypothèses physiques sur la diffusion. Ces lois approchent mal les histogrammes des images de mer 4 look du SAR SEASAT, c'est pourquoi nous avons utilisé la représentation dans le graphe (β_1, β_2) pour déterminer les lois susceptibles de fournir de meilleurs ajustements. Le test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov a permis de déterminer la loi bêta comme distribution du niveau de gris des images de mer. Cette loi devrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats en détection de cible sur l'océan. Les paramètres de ces lois permettront d'analyser la texture des images SAR afin de déterminer l'état de la houle.

Bibliographie

- [1] E.Jakeman and P.N Pusey, "Significance of K distributions in scattering experiments," *Phys Rev.Lett*, **40**, n°9, pp. 546-550, Febr. 1978.
- [3] E. Jakeman and R.J.A Tough, "Generalized K distribution: a statistical model for weak scattering," *J.Opt.Soc.Am.A*, Vol **4**, n°9, pp.1764-1772, sept. 1987.
- [4] R.Barakat, "Weak-scattering generalisation of the K-density function with application to laser scattering in atmospheric turbulence," *J.Opt.Soc.Am.A*, Vol **3**, n°4, pp.401-409, April. 1986.
- [5] G.V Trunk and S.F George, "Detection of targets in non-gaussian sea-Clutter," *IEEE transactions on aerospace and electronic systems*, vol **AES-6**, n°5, pp.620-628, Febr. 1970.
- [6] R.T Frankot and R.Chellappa, "Lognormal random field models and their applications to radar image synthesis", *IEEE geoscience and remote sensing*, vol **GE-25**, n°2, March 1987.
- [7] G.B Goldstein, "False-alarm regulation in log-normal an weibull clutter," *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, vol **AES-9**, n°1, pp.84-92, jan. 1973.
- [8] D.C Schlerer, "Radar detection in weibull clutter," *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, vol **AES-12**, n°6, pp.736-743, march 1976.
- [9] R.A Brooks & A.C Bovik, "Robust techniques for edge detection in multiplicative weibull image noise" *Parttern recognition*, vol **23**, n°6, pp.1047-1057, 1990.
- [10] Johnson & Kotz. "Continuous distributions (general)," in *Distributions in Statistics: Continuous Univariate Distributions 1*, Wiley, 1970, pp. 9-15.
- [11] Y Delignon, R Garello and A Hillion, "A statistical characterisation of sea-state SAR images," in *proceedings OCEANS symp.*, Washington, pp. 398-401, sept 1990.
- [12] A.L Maffett & C.C Wackerman, "The modified beta density function as a model for synthetic aperture radar clutter statistics," *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, vol **29**, n°2, pp.277-283, march 1991.

Le tableau 1 présente les $\sqrt{n} \cdot D_n$ entre les lois théoriques et les histogrammes des images. Le moyennage (9) rend délicat l'utilisation du test de Kolmogorov-Smirnov pour les lois K et de Rayleigh.