

Étude des moyennes temporelles en imagerie radar

Guillaume QUIN¹, Béatrice PINEL–PUYSSÉGUR¹, Jean–Marie NICOLAS²

¹CEA/DAM/DIF, F-91297 Arpajon, France

²Telecom ParisTech, 46 rue Barrault, 75013, Paris, France

guillaume.quin@cea.fr, beatrice.puysegur@cea.fr
jean-marie.nicolas@telecom-paristech.fr

Thème – Traitement d’images, Radar et Sonar.

Problème traité – Ce document traite de la problématique des moyennes temporelles en imagerie radar, appelées ici « super–images ».

Originalité – L’étude des moyennes temporelles devient indispensable avec l’augmentation constante du nombre d’images disponibles et du nombre d’applications qui en découlent (Filtrage du bruit, détection de changements, etc.).

Résultats – Nous illustrons : 1) L’insensibilité de la moyenne géométrique vis à vis d’une mauvaise calibration radiométrique des images radar; 2) Le calcul des lois statistiques de la moyenne géométrique; 3) L’intérêt d’analyser conjointement plusieurs moyennes temporelles différentes.

1 Introduction

Les nouvelles constellations de satellites radar permettent d’acquérir rapidement un grand nombre d’images d’une même zone, par exemple une image tous les jours avec les 4 satellites de la constellation COSMO–SkyMed. La gestion d’un tel volume de données requiert une nouvelle forme d’analyse d’image. Les moyennes temporelles sont souvent utilisées en imagerie radar pour filtrer le bruit de speckle qui rend parfois l’interprétation difficile. L’image moyenne fait alors apparaître clairement des détails auparavant noyés dans le bruit. Pour ceci, c’est la moyenne arithmétique qui est quasi-systématiquement utilisée. En effet, les propriétés des lois statistiques généralement employées pour modéliser le signal radar en intensité s’accordent naturellement avec les opérations d’addition de la moyenne arithmétique. Dans cet article, nous montrons que l’emploi de la moyenne géométrique peut être préférable à celui de la moyenne arithmétique car elle permet de s’affranchir du problème de la calibration radiométrique entre images. Tout d’abord, nous montrons que la moyenne géométrique est la seule à ne pas être perturbée par une mauvaise calibration radiométrique entre les images. Nous montrons ensuite que les lois statistiques de la moyenne géométrique peuvent être calculées. Nous terminons par illustrer l’intérêt d’analyser conjointement plusieurs moyennes temporelles différentes. Pour ceci, nous utilisons une série temporelle de 39 images COSMO–SkyMed acquises dans la vallée de Chamonix.

2 Insensibilité de la moyenne géométrique à la calibration radiométrique

La calibration radiométrique des images radar est capitale car elle permet de les rendre comparables entre elles. Elle consiste à appliquer des facteurs multiplicatifs (facteurs de calibration), fournis dans les meta–données des images. Pour COSMO–SkyMed, on observe souvent des variations de gain d’un facteur 4 entre des images pourtant acquises sur une même zone. De plus, les facteurs de calibration fournis dans les meta–données ne permettent pas toujours une bonne calibration.

Considérons une série temporelle calibrée de N images $T_c = \{x_1, \dots, x_N\}$, ainsi que ses N facteurs de calibration associés $\Lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_N\}$. La série temporelle non calibrée T_{nc} que nous observons est $T_{nc} = \Lambda T_c = \{\lambda_1 x_1, \dots, \lambda_N x_N\}$. La moyenne arithmétique de la série temporelle non calibrée, notée \mathcal{MA}_{nc} , s’exprime alors par :

$$\mathcal{MA}_{nc} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i x_i = \underbrace{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i}_{\text{Facteur multiplicatif}} \times \underbrace{\frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \sum_{i=1}^N \lambda_i x_i}_{\text{Moyenne arithmétique des } \{x_i\}, \text{ pondérée par les } \{\lambda_i\}} \quad (1)$$

Par ailleurs, la moyenne géométrique de la série temporelle non calibrée, notée \mathcal{MG}_{nc} , s'exprime par :

$$\mathcal{MG}_{nc} = \left(\prod_{i=1}^N \lambda_i x_i \right)^{\frac{1}{N}} = \underbrace{\left(\prod_{i=1}^N \lambda_i \right)^{\frac{1}{N}}}_{\text{Facteur multiplicatif}} \times \underbrace{\left(\prod_{i=1}^N x_i \right)^{\frac{1}{N}}}_{\text{Moyenne géométrique des images calibrées}}. \quad (2)$$

Nous constatons que la moyenne géométrique est insensible à une mauvaise calibration radiométrique des images, contrairement à la moyenne arithmétique qui fait jouer le rôle de coefficients de pondération aux facteurs de calibration. En effet, quels que soient les facteurs de calibration, les images de moyenne géométrique associées ne différeront que d'un facteur multiplicatif. Il est donc plus rigoureux d'utiliser la moyenne géométrique pour calculer une moyenne temporelle si les données ne sont pas calibrées. Nous présentons en figure 1 un exemple correspondant à une zone de la vallée de Chamonix sur laquelle nous disposons de 39 images COSMO–SkyMed (©ASI, projet 2145). Nous confrontons alors une image d'amplitude de la série temporelle à la moyenne géométrique calculée à l'aide des 39 images recalées.

Nous constatons tout d'abord que l'image moyenne présente un aspect débruité par rapport à l'image d'amplitude seule. La moyenne géométrique est en effet beaucoup plus proche visuellement de l'image optique correspondante que ne l'est l'image d'amplitude. De ce fait, les interprétations sont plus aisées qu'en présence d'un fort bruit de speckle comme c'est le cas lorsqu'on analyse une seule image d'amplitude. Le niveau de détail augmente très nettement dans les zones hétérogènes, tandis que les zones homogènes se révèlent clairement.

De plus, nous constatons que l'image moyenne révèle des détails parfois invisibles dans une seule image. En effet, dans la zone entourée par des pointillés rouges en figure 1, une centrale électrique est totalement dissimulée dans le fort bruit de speckle dû au repliement du relief dans l'image d'amplitude, alors qu'elle apparaît clairement dans l'image moyenne. De ce fait, nous qualifierons les moyennes temporelles de « super-images ».

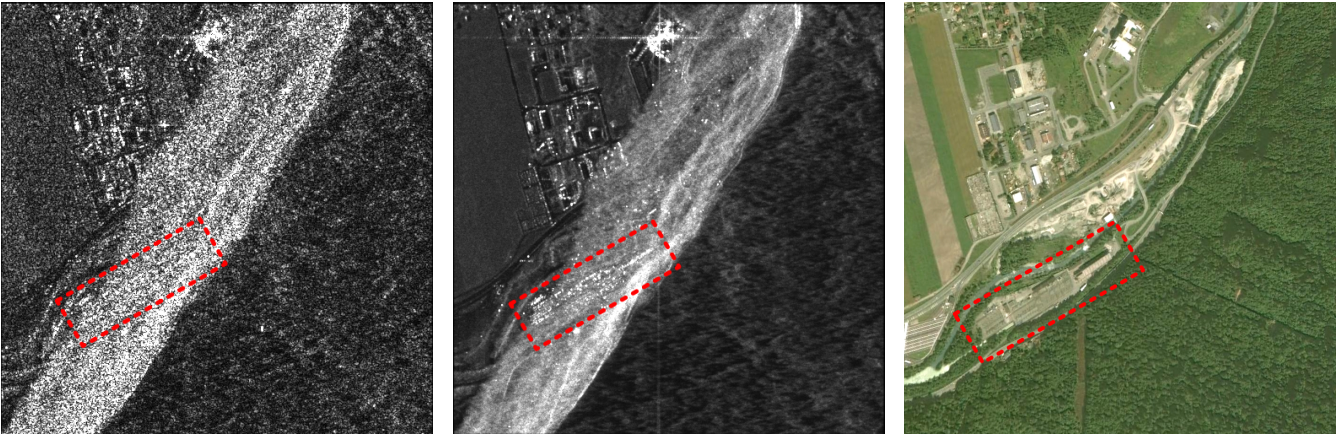


FIGURE 1 – Exemple de calcul de moyenne Géométrique sur St. Gervais les bains dans la vallée de Chamonix (Alpes, France). De gauche à droite : Image d'amplitude seule ; Moyenne géométrique sur 39 images ; Image optique. Les pointillés rouges délimitent une zone où la moyenne géométrique fait apparaître des structures spatiales dans la zone de repliement.

3 Expression des lois statistiques des images moyennes : Cas de la loi Gamma

Dans cette sous-partie, nous allons étudier les propriétés statistiques de moyennes temporelles d'images suivant une loi Gamma $\mathcal{G}[\mu, L]$. Rappelons ici l'expression de la loi Gamma, correspondant à la loi d'échantillons SAR en intensité sur une zone de texture homogène de valeur μ :

$$\mathcal{G}[\mu, L](x) = \frac{L}{\mu \Gamma(L)} \left(\frac{Lx}{\mu} \right)^{L-1} e^{-\frac{Lx}{\mu}}. \quad (3)$$

La loi $\mathcal{MA}_{\mathcal{G}[\mu, L]}[N]$ suivie par la moyenne arithmétique de N échantillons suivant une loi Gamma [1] est également une loi Gamma, car la loi Gamma vérifie le théorème d'addition :

$$\mathcal{MA}_{\mathcal{G}[\mu, L]}[N](z) = \mathcal{G}[\mu, NL](z). \quad (4)$$

Le moment d'ordre 1 d'une « super-image » arithmétique est indépendant du nombre d'images N employées, il est constant et identique à celui de la loi Gamma initiale :

$$m_{1,\mathcal{MA}} = \mu. \quad (5)$$

La loi $\mathcal{MG}_{G[\mu,L]}[N]$ suivie par la moyenne géométrique de N échantillons suivant une loi Gamma s'exprime comme une fonction de Meijer [1] :

$$\mathcal{MG}_{G[\mu,L]}[N](z) = N \left(\frac{L}{\mu\Gamma(L)} \right)^N z^{N-1} \overline{G}_{0,N}^{N,0} \left(\left(\frac{L}{\mu} \right)^N z^N \left| \underbrace{L-1, \dots, L-1}_N ; \cdot \right. \right). \quad (6)$$

La limite de son moment d'ordre 1 lorsque $N \rightarrow +\infty$ s'exprime à l'aide de la fonction Digamma Ψ sous la forme :

$$\lim_{N \rightarrow +\infty} m_{1,\mathcal{MG}} = \mu \frac{e^{\Psi(L)}}{L}. \quad (7)$$

Nous représentons en figure 2 l'allure de la fonction $L \mapsto \frac{e^{\Psi(L)}}{L}$ pour $L \in [0, 10]$. Nous constatons que $\forall L > 0, 0 \leq \frac{e^{\Psi(L)}}{L} \leq 1$. De ce fait, le moment d'ordre 1 de la moyenne géométrique est toujours inférieur à celui de la moyenne arithmétique, qui reste pour sa part identique à μ quel que soit le nombre d'images. Lorsque le paramètre L de la loi Gamma initiale est faible, c'est à dire que les données initiales sont très hétérogènes, le moment d'ordre 1 de la moyenne géométrique se rapproche de 0. Ceci s'explique par le fait que l'hétérogénéité des données rend plus probable l'apparition de très faibles valeurs susceptibles d'attirer la moyenne géométrique vers 0. D'autre part, lorsque le paramètre L est grand, c'est à dire que les données sont très homogènes et centrées autour de la valeur μ , le moment d'ordre 1 de la moyenne géométrique se rapproche de μ .

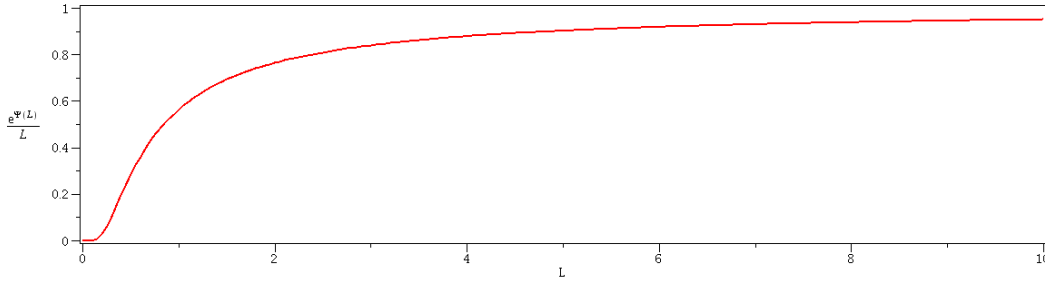


FIGURE 2 – Courbe représentative de la fonction $L \mapsto \frac{e^{\Psi(L)}}{L}$ pour $L \in [0, 10]$.

4 Intérêt de l'analyse conjointe de plusieurs moyennes temporelles différentes

Nous avons montré dans la partie 2 que l'usage de la moyenne géométrique était préférable à la moyenne arithmétique car elle était insensible aux problèmes de calibration radiométrique. Nous présentons maintenant un exemple illustrant l'intérêt d'analyser conjointement plusieurs moyennes temporelles avec la moyenne géométrique, même si elles sont perturbées par une mauvaise calibration radiométrique.

Nous présentons en figure 3 une simulation de 30 images suivant une loi Gamma dans lesquelles ont été introduites des cibles suivant une loi uniforme spatialement et temporellement. En comparant le résultat d'une moyenne géométrique et d'une moyenne arithmétique, nous constatons que la révélation des cibles dépend de leur valeur par rapport à μ et $\mu \frac{e^{\Psi(L)}}{L}$ (cf. équations 5 et 7), ainsi que de la moyenne utilisée. Nous observons également une possible inversion de contraste visible sur la colonne du milieu.

Ce qu'il est possible d'analyser visuellement sur une image moyenne dépend donc de la moyenne employée, une seule ne suffit donc pas. L'usage conjoint de moyennes temporelles est déjà illustré par son application à la détection de changements [2].

5 Conclusions

Nous avons montré que seul l'usage de la moyenne géométrique permettait de s'affranchir d'une bonne calibration radiométrique entre les images d'une série temporelle. De ce fait, si les données ne sont pas calibrées, la moyenne géométrique est par conséquent préférable à la moyenne arithmétique traditionnellement utilisée pour calculer une moyenne temporelle entre images SAR en intensité. Nous avons également montré qu'il était facilement possible d'exprimer les lois statistiques suivies par la moyenne

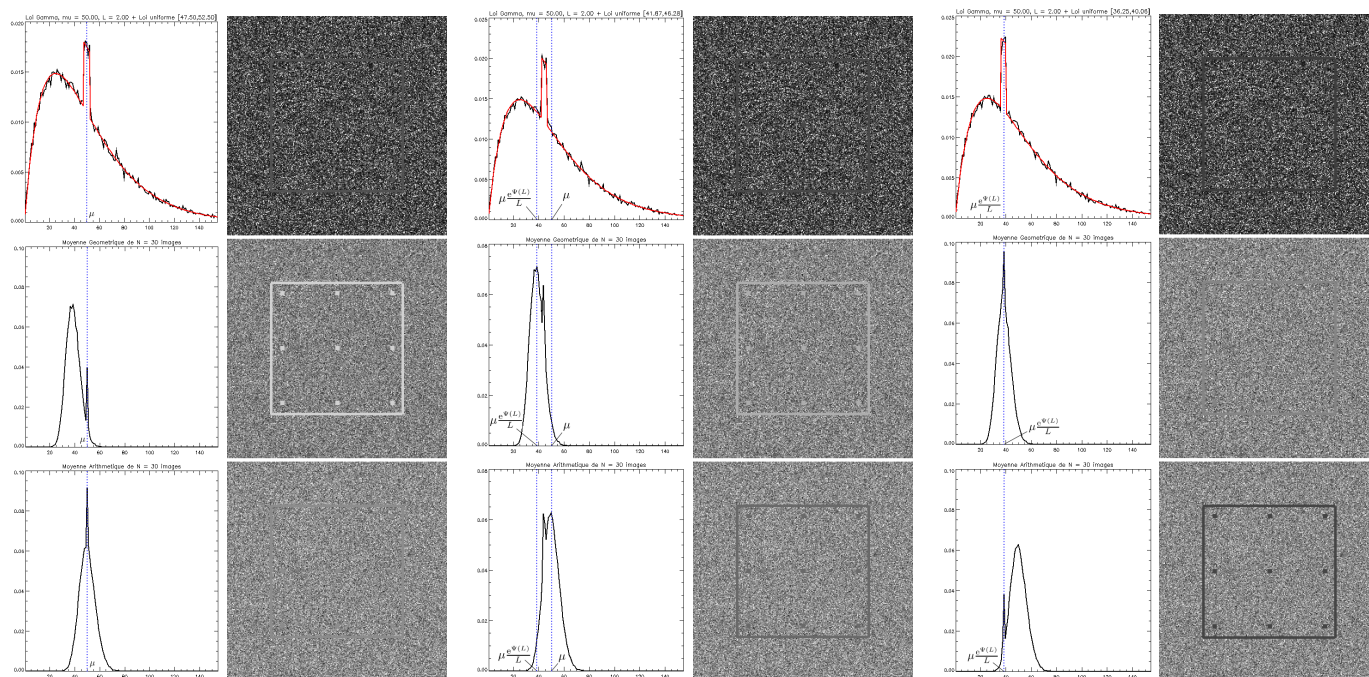


FIGURE 3 – Comparaison entre moyenne géométrique et arithmétique de 30 scènes homogènes suivant une loi Gamma, contenant des cibles suivant une loi uniforme. De gauche à droite : Loi uniforme centrée sur le paramètre μ de la loi Gamma ; comprise entre μ et $\mu \frac{e^{\Psi(L)}}{L}$; centrée sur $\mu \frac{e^{\Psi(L)}}{L}$. De haut en bas : une des 30 images simulées ; moyenne géométrique ; moyenne arithmétique.

géométrique. Nous avons finalement illustré la nécessité d’analyser conjointement plusieurs moyennes temporelles différentes en montrant que le résultat d’une moyenne temporelle dépendait de la moyenne utilisée.

Références

- [1] J.M. Nicolas, “Les distributions de Meijer et leurs propriétés en statistique de Mellin” Rapport TélécomParisTech 2011D002. http://www.tsi.telecom-paristech.fr/~nicolas/jmnicolas_meijer_2011D002.pdf
- [2] G. Quin, B. Pinel-Puysségur et J.M. Nicolas, “Comparison of Harmonic, Geometric and Arithmetic means for change detection in SAR time series” EUSAR. 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, April 2012, pp. 255-258.