

Caractérisation statistique de signaux de type ROS polarimétriques. Application au codage avec compression d'information

Xavier Morin, Dominique Barba, Safwan El Assad

Laboratoire Systèmes Electroniques et Informatiques
EP CNRS 63, IRESTE, Rue Christian Pauc
La Chantrerie, BP 60601
44306 Nantes cedex 3

RÉSUMÉ

ABSTRACT

L'obtention d'images satellitaires de type radar nécessite la transmission d'une quantité très importante de données, car le traitement de construction des images ne peut généralement pas être effectué directement à bord. Un traitement de compression des données acquises est donc requis. Les résolutions actuelles des images ne permettent pas de réaliser des codages sans perte d'une partie de l'information. Les propriétés statistiques du signal sont en outre généralement négligées. Or, la corrélation intrinsèque de ces signaux peut être exploitée afin d'augmenter les performances des procédés de compression. Le but de cet article consiste à montrer des exemples de techniques de compression et l'apport de la prise en compte des propriétés statistiques en vue de la compression de signaux effectivement mesurés.

For satellite type radar imaging, the transmission of a very large amount of data is requested, since on-board image construction is generally impossible. A compression scheme is therefore needed. The current image resolutions do not allow lossless type coding. The statistical properties of the signal are besides often discarded. However, the correlation of this signal can be exploited in order to increase the compression algorithms performances. This paper shows compression techniques examples and the contribution of the statistical properties of the signal for compression purpose.

1 Introduction

Cette étude a pour sujet l'intérêt de l'exploitation des corrélations entre composantes d'un signal acquis à l'aide d'un ROS (Radar à Ouverture Synthétique) polarimétrique en vue de sa compression. En effet, la plupart des dispositifs embarqués de ce type n'offrent pas de possibilité de construction d'images à bord. Etant donnée la quantité énorme de données collectées par les systèmes actuels, un procédé de compression avant transmission est souvent nécessaire ou très souhaitable.

Les performances des algorithmes de compression dépendent fortement des propriétés statistiques des signaux à coder et de leur dynamique par rapport à la précision de la représentation. Par exemple, une quantification vectorielle de type LBG aboutit à des résultats meilleurs lorsque les composantes des vecteurs sont fortement corrélées. Trois types de propriétés statistiques sont examinées sur des signaux réels acquis à l'aide d'un dispositif à visée latérale : la distribution des données, la corrélation en fonction des variations de fréquence et de la position du radar, et la corrélation entre canaux de polarisation.

Trois méthodes de compression ont été développés : la quantification vectorielle (QV) par création du dictionnaire des représentants (algorithme LBG), les réseaux de Kohonen et la QV algébrique. Pour chacune de ces méthodes, le pro-

blème de l'apport potentiel des corrélations du signal est abordé. Une comparaison est réalisée entre les résultats obtenus lorsque cette corrélation est prise en compte, et ceux que l'on obtient lorsque les propriétés (en terme de corrélation) du signal ne sont pas exploitées, en particulier dans la construction des vecteurs à quantifier.

2 Caractéristiques des données acquises

Le radar utilisé pour l'acquisition des données est SARAPE, un système d'imagerie à visée latérale polarimétrique de faible dimension. Il a été développé par le CELAR (Centre d'Electronique de l'Armement) pour l'étude de l'interaction des ondes électromagnétiques avec un fouillis de sol [1].

SARAPE est un instrument mobile permettant la synthèse polarimétrique de scènes. Le principe d'imagerie utilisé est celui des radars quasi-monostatiques à visée latérale et antenne synthétique. L'antenne, constituée de quatre cornets permettant la combinaison des différentes polarisations, est fixée à un rail de longueur 3,5 m. La durée totale d'acquisition des signaux est réalisée sur cette distance en deux secondes.

Pour chaque position du système de mesures, une réponse de l'environnement est enregistrée. L'ensemble de ces réponses forme un hologramme. Le principe de construction des images est celui de l'holographie latérale, qui est une géné-

ralisation de l'holographie radar au cas où le système d'imagerie se déplace de façon linéaire et où la cible est supposée fixe.

Le signal acquis se présente par conséquent sous la forme d'un tableau à deux dimensions : la première de ces dimensions représente la position du radar, tandis que la seconde témoigne de la fréquence de l'onde émise (cette fréquence est comprise entre 9.5 et 10.5 Ghz, par pas de 2 Mhz).

2 Prise en compte des propriétés statistiques de la source

Dans la littérature ouverte, les parties réelles et imaginaires des signaux de type ROS sont, de façon générale, supposés être correctement modélisés par une distribution Gaussienne. En outre, ces éléments de signal sont d'ordinaire et par conjecture censés être indépendants. Dans l'optique de la compression du signal, ce modèle est fâcheux, car il ne permet pas l'exploitation de la redondance de la source. Nous n'avons pas voulu nous arrêter à cette hypothèse, qui ne traduit pas toujours la réalité. En effet, nous avons étudié de façon objective (calcul, application de tests d'adéquation, etc.) les paramètres suivants :

- Les histogrammes des données.
- Les corrélations en fonction du déplacement latéral et en fonction des variations de la fréquence du signal émis.
- Les corrélations entre canaux de polarisation. Seules les données contenues dans les canaux HV (onde émise de polarisation [H]orizontale, réception effectuée dans le canal de polarisation [V]erticale), HH et VV sont à compresser.

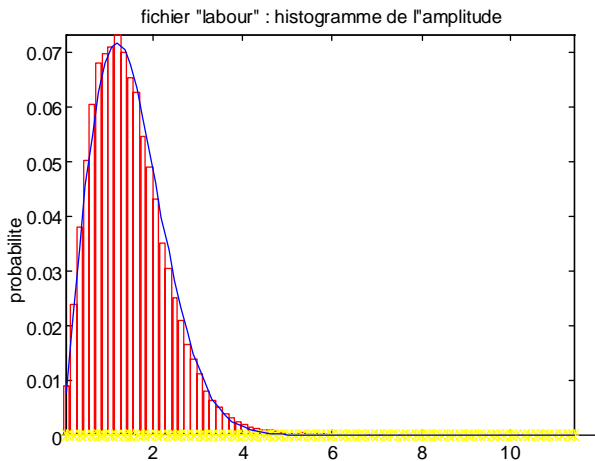


Fig 1 : histogramme de l'amplitude du signal

Les histogrammes des données sont classiques : le module du signal est le plus correctement modélisé par une distribution de Weibull ayant un paramètre de forme proche de 2. Par ailleurs, la phase est uniformément distribuée sur l'intervalle $[-\pi + \pi]$ (radians).

Les corrélations sont calculées pour chaque position de radar, en fonction de l'écart de fréquence, ou pour chaque fréquence en fonction du déplacement du radar. Le résultat final est une moyenne des corrélations monodimensionnelles ainsi évaluées. Les figures suivantes montrent les corrélations de la partie réelle du signal en fonction de la fréquence et de la position du radar :

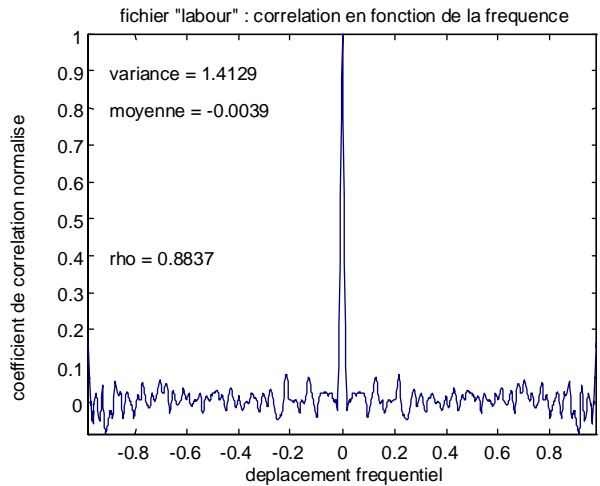


Fig 2 : corrélation en fonction de la fréquence

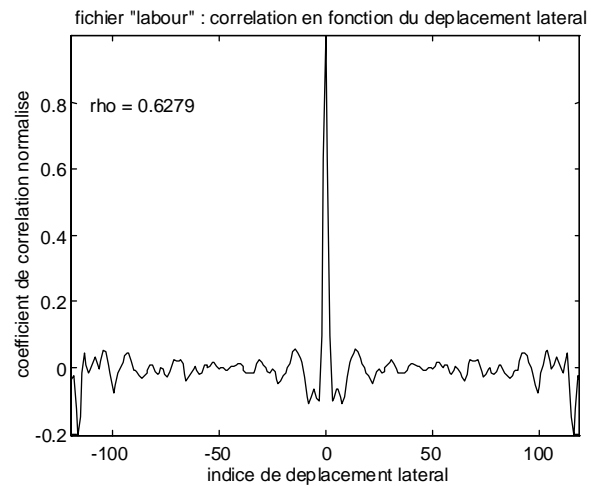


Fig 3 : corrélation en fonction du déplacement latéral

Nous avons démontré que pour les signaux dont nous disposons, le coefficient de corrélation atteint des valeurs non négligeables. Par exemple, voici les coefficients de corrélation obtenus lorsque la partie réelle du signal est prise en considération :

	canal HH	canal VV	canal HV
fréquence variable	0.7237	0.6439	0.5441
position variable	0.5304	0.5855	0.5539

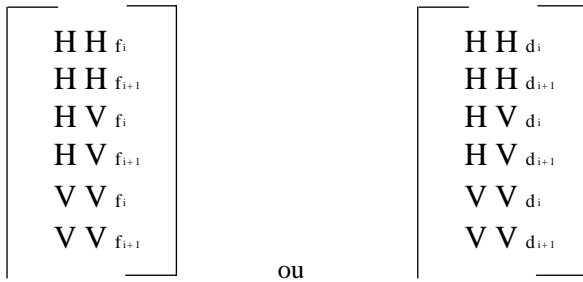
Tableau 1 : coefficients de corrélation de la partie réelle du signal

Nous avons par ailleurs montré que la corrélation en fonction de la fréquence est plus élevée que celle mesurée en fonction du déplacement latéral du radar. Les corrélations de la partie réelle et de la partie imaginaire, qui sont très semblables, sont plus élevées que celles du module ou de la phase.

D'autre part, nous avons mesuré un coefficient de corrélation entre canaux de polarisation HH et VV relativement fort (0.46 pour la partie réelle du signal), alors que l'intercorrélation entre canaux HH et HV d'une part, VV et HV d'autre part, est presque nulle.

2 Algorithmes de compression développés et évalués

Les techniques de compression employées font partie des méthodes de quantification vectorielle. Ainsi, des échantillons de signal sont regroupés afin de constituer des vecteurs. Il s'agit d'un traitement préalable destiné à réduire le débit de transmission, au prix d'une complexité de traitement plus grande. Nous avons évalué les performances de trois types d'algorithmes de compression: le procédé LBG, qui nous sert de référence, les cartes topologiques de Kohonen. Nous avons décidé de constituer des vecteurs à 6 composantes réelles (6 parties réelles ou imaginaires de signal adjacentes), de la façon suivante :



Les indices «f» et «d» situés à l'intérieur de ces vecteurs indiquent respectivement que les composantes sont adjacentes en «fréquence» ou selon le sens de déplacement latéral du radar. «XY» avec X,Y=H ou V signifie que le canal de polarisation XY est pris en considération.

3.1 L'algorithme LBG classique

Cet algorithme, dérivé de la méthode des centres mobiles, nous sert de référence [5]. Il affecte un représentant à chaque vecteur destiné à être codé. Cette opération est réalisée de façon à minimiser l'erreur quadratique moyenne entre les données et leurs représentants. Seul l'indice du représentant le plus proche du vecteur à coder est transmis. Les performances de ce type de codeur sont améliorées lorsque les composantes des vecteurs constitués sont corrélées. La période d'apprentissage du dictionnaire contenant l'ensemble des représentants est réalisée seulement à partir de vecteurs constitués de parties réelles du signal. Ce même dictionnaire est utilisé ensuite pour le codage de la partie imaginaire des signaux reçus. En effet, ces deux ensembles possèdent les mêmes caractéristiques statistiques.

3.1 Quantification vectorielle par réseaux de Kohonen

Le réseau auto-organisateur de Kohonen est un algorithme généralement répertorié dans la classe des réseaux neuro-mimétiques non supervisés. Une phase d'apprentissage permet de stocker dans chacun des neurones une représentation de la classe de vecteurs auquel il réagit. A chaque nouvelle arrivée d'un vecteur en entrée de la carte, la cellule dont le poids est le plus voisin de ce vecteur est choisie comme étant la plus apte à le représenter. La valeur de ce neurone vainqueur (ainsi que celles de ses voisins les plus proches) est alors corrigée afin d'obtenir une représentation interne plus fidèle de la source [7]. De même que lors de l'apprentissage du dictionnaire des représentants associé à l'algorithme LBG, seules les parties réelles d'un jeu d'apprentissage constitué sont utilisées pour la détermination

des noeuds du réseau. Les parties réelles et imaginaires du signal sont ensuite codées par simple scrutation.

Comme le montre la figure suivante, le réseau que nous avons mis en oeuvre possède une structure carrée :

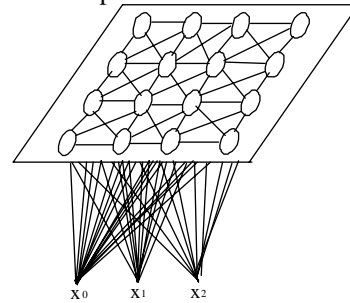


Fig 4 : Structure à deux dimensions du réseau

La dimension de chaque cellule est 6. Nous avons souhaité que les neurones situés au bord de la structure soient connectés à autant de cellules que ceux situés au centre du plan. La structure du réseau est donc bien carrée, mais il s'agit d'un carré dont les bords sont connectés.

3.1 Quantification vectorielle algébrique :

Les réseaux (parfois appelés également treillis) sont des structures régulières de points. Lors de la procédure de codage, chaque vecteur à compresser est associé au noeud de ce réseau qui lui est le plus proche. Seul l'indice de ce dernier est alors transmis. L'avantage principal de ce type de type de réseau tient dans la simplicité de l'étape de codage [4]. L'association d'un changement de représentation (transformée de Karhunen-Loève), destiné à rendre les données orthogonales, permet d'exploiter à la fois la corrélation des éléments constitutifs des vecteurs de la source et la structure régulière du treillis.

4 Résultats obtenus

Voici, en termes de distorsion et de rapport signal à bruit de quantification, les résultats obtenus

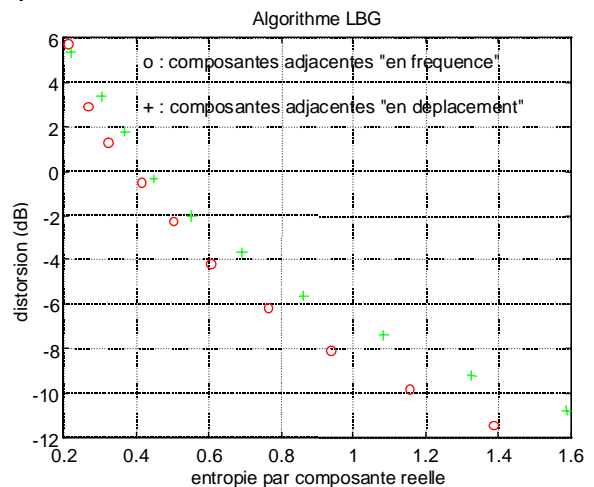


Fig 5 : distorsion du signal en fonction de l'entropie

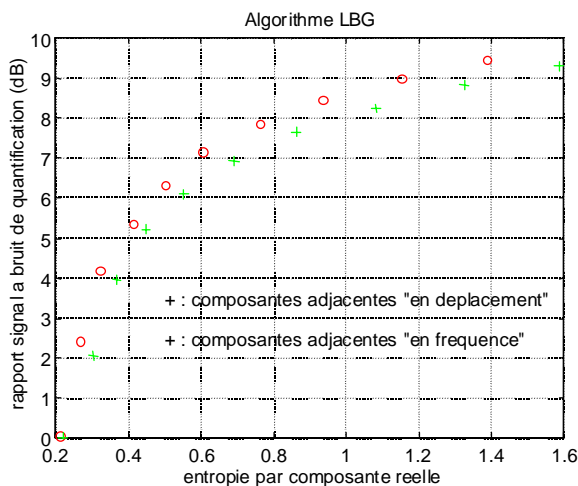


Fig 5 : rapport signal à bruit en fonction de l'entropie

L'exploitation de la corrélation permet donc un gain de distorsion proche de 2 dB. Dans le cas des réseaux, l'application de la transformée de Karhunen-Loève aboutit à une amélioration d'environ 5 % en terme de distorsion.

Voici un exemple de résultats obtenus après compression du signal brut acquis. La scène correspondante représente un champ labouré entouré d'une zone herbeuse. Les composantes du signal sont adjacentes selon l'axe des fréquences. Les critères essentiels de jugement de la qualité du codage sont appliqués dans le domaine du signal, après construction de l'image. Outre la qualité visuelle de cette dernière, qui est préservée pour l'ensemble des algorithmes mis en oeuvre, nous avons utilisé les catégories de critères statistiques et radiométriques établis par M Dutkiewicz et son équipe [2]. Ainsi, une comparaison de la dynamique, de la moyenne (rapportée à la dynamique), de l'écart-type, du coefficient d'aplatissement et de l'entropie de l'image originale et de celle construite après compression dans le domaine du signal sont des indicateurs valables des changements apparus dans les caractéristiques de l'image. La distorsion moyenne (par échantillon d'image complexe) et le rapport signal à bruit de cette même image sont également utiles au jugement des performances des algorithmes. La linéarité radiométrique, c'est à dire le rapport de valeurs moyennes de parties homogènes de l'image construite après compression (des modules des pixels en l'occurrence) sur leurs homologues mesurés sans compression du signal, est évaluée. Plus la valeur de ce paramètre est proche de 1, mieux la linéarité radiométrique est préservée.

	LBG 512	Koho 1024	Tr_Z6
Variation dynamique	3,76 %	6,77 %	11,32 %
Variation moyenne	-0,60 %	-0,66 %	-1,9 %
Variation écart-type	-3,92 %	-4,52 %	-13,21 %
Variation aplatissement	1,49 %	-1,48 %	0,21 %
Variation entropie	-0,0023 %	0,54 %	-0,38 %
Rapport signal à bruit (dB)	18,67	19,83	14,42
distorsion par pixel (dB)	-69,45	-71,78	-60,95

linéarité radiométrique	1,0425	1,0477	1,15
--------------------------------	--------	--------	------

Tableau 2 : résultats obtenus

La première des colonnes du tableau précédent correspond à l'algorithme LBG dont le cardinal du dictionnaire est 512 (l'entropie est alors égale à 1.28). La seconde colonne représente les résultats obtenus lors de l'application du réseau de Kohonen, lorsqu'il contient 1024 éléments (l'entropie est alors égale à 1.61). La troisième colonne correspond à l'application du réseau Z6 sans transformée, avec un facteur de dilatation égal à 10 et un rayon de troncation égal à 3 fois l'écart-type des données (le débit est supérieur à celui des deux cas précédents). Nous pouvons remarquer que les performances du treillis sont inférieures. Les performances obtenues par l'algorithme LBG sont les plus satisfaisantes, au prix d'un coût de calcul nettement plus élevé. Le réseau de Kohonen présente un bon compromis entre coût de calcul et performances.

5 Conclusion

Cette étude montre l'intérêt de la prise en compte des propriétés statistiques d'un signal de type ROS en vue de sa compression. Les données utilisées sont celles mesurées à l'aide d'un dispositif opérationnel. Elles possèdent une corrélation non négligeable, qui est exploitée lors de la constitution des vecteurs à compresser.

L'algorithme LBG est sensible à cette prise en compte. Les résultats obtenus en témoignent. De même, l'emploi de la transformation de Karhunen-Loève aboutit à une augmentation des performances des treillis. L'application des cartes topologiques de Kohonen mène à des performances moins bonnes que l'algorithme LBG, mais à un prix en terme de quantité de calcul moindre.

5 Références

- [1] Berges A, Christophe F : «SARAPE : pocket SAR for outdoor RCS analysis». Colloque radar 1994, pp. 523-527.
- [2] Dutkiewicz M, Cumming I : «Evaluation of the effects of encoding on SAR data». IEEE Photography Engineering and Remote Sensing, vol. 60, n°7, pp. 895-904, 1994.
- [3] El Assad S, Lakkis I, Saillard J : «Holographic SAR image formation by coherent summation of impulse response derivatives». IEEE transactions on Antennas and Propagation, vol. 41, n°5, mai 1993.
- [4] Gaidon T : «Quantification vectorielle algébrique et ondelettes pour la compression d'images». Thèse de doctorat. Université de Nice-Sophia Antipolis, décembre 1993.
- [5] Linde Y, Buzo A, Gray R : «An algorithm for vector quantizer design», IEEE transactions on Communications, vol. com-28, n°1, pp. 84-95, janvier 1980.
- [6] Motet J.C, Marechal B : «High resolution radar measurement of clutter», colloque radar 1994, pp. 534-539.
- [7] Trotin A : «Un réseau de neurones pour la classification d'images : de l'algorithme à l'implantation». Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, janvier 1993.