

COMPRESSION DE DONNEES BRUTES SAR

(Synthetic Aperture Radar)

Jean Marie Moureaux*, Patricia Gauthier*, Michel Barlaud*,
Pascale Bellemain**

(*) Laboratoire I3S du CNRS, 250 av A. Einstein 06560 Sophia Antipolis Valbonne

(**) AEROSPATIALE, Etablissement de Cannes, Division Espace et Défense
100 bd du Midi BP 99, 06322 Cannes la Bocca Cedex

RESUME

Le système SAR est caractérisé par des quantités importantes d'informations utilisées pour synthétiser une image radar par traitement numérique au sol. Afin de réduire les temps de transmission de ces signaux bruts complexes du radar vers le sol, diverses méthodes de compression ont été mises en oeuvre sur deux approches de codage : module et phase ou parties réelle et imaginaire. Il ressort de cette étude que la quantification vectorielle appliquée sur la partie réelle et la partie imaginaire fournit les meilleurs résultats en terme de critères visuels et numériques.

1. INTRODUCTION

Le système Radar à Ouverture Synthétique (ROS / SAR) se présente comme un système d'imagerie actif embarqué (avion, satellite) opérant dans le domaine micro-ondes (1-10GHz) [1]. Les scènes imagées peuvent être observées de jour comme de nuit ou par forte couverture nuageuse. Il est utilisé dans des secteurs d'activité aussi variés que la détection, l'agriculture, l'océanographie, la météorologie ou la cartographie.

Les images obtenues ont une résolution spatiale comparable à celle des systèmes optiques (quelques mètres à quelques dizaines de mètres), moyennant un traitement complexe de synthèse d'image réalisé à partir du signal brut enregistré par le radar. Ce traitement équivaut à la synthèse par calcul d'une antenne de grande longueur, en exploitant le déplacement du porteur au cours de la prise de vue. Compte tenu de la complexité du traitement et du volume de données brutes à traiter, la synthèse de l'image est réalisée au sol, à partir du signal brut complexe qui est transmis par télémesure.

De ce fait, le problème posé relève à la fois du temps de transmission au sol des signaux bruts collectés par le radar, mais aussi de la capacité de stockage de ces mêmes données brutes au sol, en attente de la phase de reconstruction.

Des méthodes de compression numérique ont donc été mises en oeuvre sur ces signaux bruts. Ceux-ci ayant la particularité d'être complexes, deux approches de codage ont été proposées :

- partie réelle et imaginaire
- module et phase

2. PRINCIPE DU SAR

Le SAR est un radar embarqué sur un porteur dont l'antenne vise dans le plan perpendiculaire au vecteur vitesse, avec un angle

ABSTRACT

Synthetic Aperture Radar (SAR) is a microwave imaging system which collects a lot of data to synthesize a radar image by numerical processus. In order to reduce the data flow to be transmitted to the receiver on earth, we propose a data compression scheme for magnitude and phase and for real and imaginary parts. It has appeared that Vector Quantization of real and imaginary parts performs better than all other studied methods.

d'incidence de quelques dizaines de degrés par rapport à la verticale. La zone éclairée est repérée par les deux axes distance (perpendiculaire au déplacement) et azimut (parallèle au déplacement). Durant son déplacement, l'antenne émet un train d'impulsions qui est réfléchi par le sol [2]. Cette réponse est fonction des éléments réfléchissants présents dans le lobe de l'antenne. Au cours du déplacement du satellite, chacun de ces éléments est éclairé par un grand nombre d'impulsions. Le procédé qui permet de passer de signaux bruts à l'image radar, et qui est réalisé au sol, correspond pour notre cas, à un filtrage selon l'axe des distances et l'axe azimutal, effectué dans le domaine fréquentiel.

Le but de l'étude est donc de trouver un algorithme de compression optimal embarquable, qui agisse avant la transmission du signal brut au sol.

La figure 1 représente les étapes de reconstruction d'une image radar à partir de signaux bruts. Elle permet de situer le module de compression qui fait l'objet de cette étude, ainsi que les critères évalués.

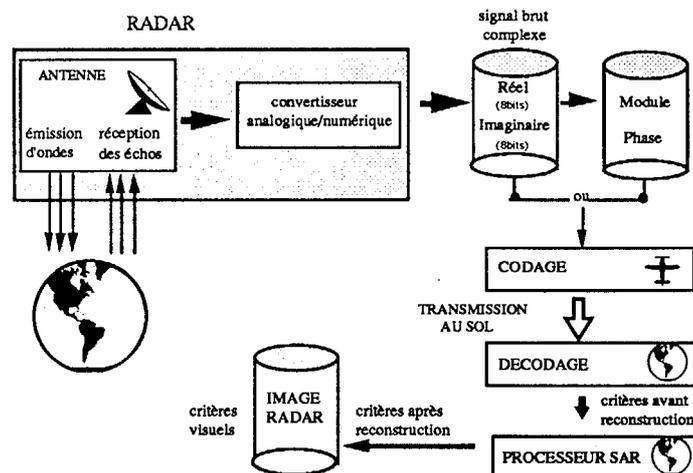


figure 1 : étapes d'obtention d'une image SAR



3. CONTEXTE DE L'ETUDE

Les données de travail sont des données issues du simulateur de signaux bruts SAMOTHRACE d'AEROSPATIALE [3].

Les critères de qualité image reposent essentiellement sur le critère visuel après reconstruction, avec la prise en compte de la reconnaissance de linéiques, de reliefs, zones urbaines... Ce critère visuel est complété par des critères numériques évalués avant ou après l'application du processeur de reconstruction SAR, et parmi lesquels figurent le snr (rapport signal / bruit) et l'erreur de phase.

Les méthodes de compression mises en oeuvre sont la QS (Quantification Scalaire), la BAQ (Block Adaptive Quantization) et la QV (Quantification Vectorielle). L'objectif est d'appliquer ces méthodes sur les parties réelle et imaginaire ou module et phase. Les choix réalisés dépendent de la statistique des signaux à coder.

4. METHODES DE CODAGE ENVISAGEES

a) Quantification Scalaire Uniforme (QS)

La méthode est très simple et peu coûteuse en calcul : le quantificateur fait correspondre à la variable d'entrée x_n , une valeur approchée y_i choisie dans un ensemble fini de valeurs [4]. Elle est cependant mal adaptée aux statistiques non uniformes, en particulier pour de faibles débits (pas de quantification important).

b) Block Adaptive Quantization (BAQ)

Cette méthode de faible complexité [5] a été conçue pour l'imagerie SAR et est donc bien adaptée aux statistiques gaussiennes. Elle a déjà été implantée sur la sonde Magellan, chargée d'imager la planète Vénus. Elle implique un découpage de l'image en blocs de taille suffisamment grande pour conserver une statistique Gaussienne à l'intérieur de ces blocs. Pour chaque bloc l'écart type σ est transmis, et pour chacun des pixels réels sont transmis 2 bits :

- un bit de signe
- un bit d'amplitude indiquant si la valeur absolue du pixel est inférieure/supérieure à un seuil directement proportionnel à σ .

Il est donc impossible à la BAQ de descendre en dessous de 2x2 bpp pour un signal complexe.

c) Quantification Vectorielle (QV)

La QV est la généralisation de la QS à des blocs de n pixels. Le quantificateur associe à un vecteur X de l'image à comprimer, un vecteur Y_i d'un dictionnaire de formes (codebook) en minimisant l'erreur quadratique entre X et Y_i . Au codage, seul l'index i est transmis, le décodeur étant en possession du même dictionnaire, il rétablit alors la correspondance avec le vecteur d'indice i et permet donc de reconstituer l'image comprimée [4]. La fabrication du dictionnaire est une opération indépendante de la quantification de l'image. Cette opération est très importante car le dictionnaire doit être le plus représentatif possible de la variété des images à coder [6].

5. DONNEES EXPERIMENTALES

Le signal brut complexe traité dans cette étude est composé de 1380 x 1288 points pour la partie réelle et autant pour la partie imaginaire; l'image radar résultante, après processeur SAR est de 890 x 1288 pixels. Il s'agit d'une vue aéroportée d'une plaine traversée par un fleuve et urbanisée en certains endroits (fig.3). Les parties réelle et imaginaire du signal brut, codées chacune sur 8 bits

possèdent une statistique Gaussienne. Elles présentent chacune une entropie de 6,53 bpp, ce qui laisse présager qu'un codage entropique sera insuffisant si l'on se fixe comme objectif minimum un débit de 8bpp (2x4 bpp).

Il est donc nécessaire d'envisager d'autres méthodes de codage. Compte tenu des statistiques Gaussiennes de la partie réelle et imaginaire, la BAQ a été retenue en premier lieu. Bien adaptée à cette statistique, elle a déjà fait ses preuves sur la sonde Magellan.

La QV bien qu'optimale pour des statistiques Gaussiennes généralisées, est également satisfaisante dans le cas gaussien. La QS a été retenue pour sa simplicité.

La partie réelle étant décorrélée de la partie imaginaire, un codage indépendant s'impose. D'autre part, en ce qui concerne les données brutes de cette étude, et du fait des paramètres radar, la corrélation s'avère plus forte selon les colonnes que les lignes. Ce phénomène est d'ailleurs confirmé par les différents essais de codage par QV, pour lesquels l'orientation des vecteurs intervient.

Si l'on considère l'approche module et phase, les statistiques sont différentes. Le module qui suit une loi de Rayleigh est codé par quantification vectorielle. La phase qui suit une loi uniforme ne pourra fournir un fort taux de compression, cependant des méthodes telles que la quantification scalaire uniforme ou la quantification vectorielle pourront être appliquées.

6. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les signaux bruts étant représentés par 16 bpp (parties réelle et imaginaire confondues) l'objectif à atteindre a été fixé à 4 bpp (2x2bpp), ce qui correspond à un taux de compression de 4. Ce débit présente un double intérêt :

- il est en quelque sorte un point d'inflexion pour le critère visuel (débit faisant apparaître des différences visuelles).
- débit minimum que l'on peut atteindre en BAQ (méthode de référence).

Pour chacune des approches, ce débit a été également réparti :

- partie réelle / imaginaire : 2 x 2bpp
- module et phase : 2 x 2bpp

Le tableau de la figure 2, permet de comparer les divers critères numériques. Les images radar résultant se trouvent en dernière page.

6.1 Approche de codage de la partie réelle et imaginaire

Ces signaux ayant la particularité de posséder les mêmes propriétés statistiques, les méthodes employées ont été similaires.

a) Quantification Scalaire Uniforme (QS)

Pour un débit binaire de 2x2 bpp, il faut utiliser un pas de 64, soit 4 valeurs possibles pour quantifier un signal ayant une entropie de 6.53 bpp. Les résultats obtenus (essai1) sont médiocres : l'image finale est très dégradée (fig.4) : les linéiques sont perdus, les reliefs inexistant, les contours très flous. Le traitement semble avoir rajouté du bruit de quantification.

b) Block Adaptive Quantization (BAQ)

Pour un débit de 2x2 bpp, l'image reconstruite est légèrement meilleure que dans le cas de la quantification scalaire (fig.5), mais les dégradations demeurent importantes. Les contrastes ont fortement diminué entraînant la disparition de nombreux détails. Le snr de l'image radar est faible pour cet essai (essai2) : 5,6 dB. On

remarquera au passage que cette méthode appliquée pour un débit de 3 bpp (essai3), c'est-à-dire avec 2 bits d'amplitude et 1 bit de signe (8 valeurs possibles) donne de très bons résultats visuels et numériques; pour ce dernier cas, le snr après reconstruction est de l'ordre de 18 dB. La BAQ convient donc mieux à des débits supérieurs.

c) Quantification vectorielle (QV)

Les essais de QV pratiqués dans cette étude ont trois objectifs :

- démontrer qu'en toutes circonstances, la QV donne de meilleurs résultats que les autres méthodes,
- vérifier la robustesse du codebook,
- montrer que pour les signaux bruts fournis, la corrélation du signal a une orientation privilégiée.

Pour atteindre un débit de 2x2 bpp, le choix s'est porté sur des dictionnaires de 256 vecteurs de dimension 4 mais de formes différentes : 2x2 (carré), 4x1 (vertical) et 1x4 (horizontal).

Afin d'atteindre le deuxième objectif, des dictionnaires de mêmes caractéristiques (256 vecteurs 4x1) ont été constitués à partir de différentes séquences d'apprentissage (Training Sequence : TS) :

- TS1 : zone de 150x150 points de la partie réelle d'un signal brut dont l'image radar reconstruite représente une ville. (essai 4),
- TS2 : zone de même taille extraite de la partie réelle d'un signal brut dont l'image radar reconstruite représente une zone à fort relief. (essai 5),
- TS3 : zone de 150 x 150 points extraite de la partie réelle du signal brut à coder. (essai 6).

On constate pour chacun des dictionnaires que les variations des critères numériques sont très faibles, et qu'il est impossible de discerner à l'oeil nu des différences sur les images radar résultant (figures 6 et 7).

Notons au passage que le dictionnaire peut être extrait indépendamment de la partie réelle ou imaginaire, ceci ayant très peu d'incidence sur le codage (le snr après reconstruction présente en effet une variation de l'ordre de 0,1 à 0,2 dB).

Notons aussi qu'il est inutile pour constituer un dictionnaire de prendre comme séquence d'apprentissage la totalité du signal brut. Là encore les variations par rapport à un dictionnaire prélevé sur une zone restreinte sont négligeables.

De nombreux autres essais ont été menés dans ces termes et ont confirmé l'hypothèse de robustesse du dictionnaire. Cependant le jeu d'essais de signaux bruts mis à notre disposition ayant été constitué avec le même simulateur, il est préférable de confirmer ces conclusions sur des signaux réels.

La vérification du troisième objectif a été mise en oeuvre par la création à partir d'une même séquence d'apprentissage, de dictionnaires de tailles identiques mais de formes de vecteurs différentes :

- séquence d'apprentissage TS1 : 256 vecteurs 4x1 (essai 4),
- TS1 mais avec des vecteurs de dimension 2x2 (essai7),
- TS1, les vecteurs sont cette fois-ci de dimension 1 x 4 (essai 8).

Cette expérience répétée sur plusieurs séquences d'apprentissage fournit des résultats significatifs en terme de snr sur l'image radar, mais aucune différence concernant l'aspect visuel.

En dernier lieu, nous remarquons que quelque soit le type de QV appliquée, les résultats obtenus sont toujours meilleurs pour ce débit de 2x2 bpp que la QS ou la BAQ, ce qui vérifie bien le

premier objectif.

6.2 Approche de codage du module et de la phase

Les choix retenus concernant les méthodes appliquées sont les suivants:

- quantification vectorielle sur le module (le dictionnaire étant formé à partir d'une zone prélevée dans ce même module)
- quantification scalaire ou vectorielle pour la phase qui suit une loi uniforme (le dictionnaire est formé à partir d'une zone de la phase elle-même)

Les résultats obtenus (essai 9) sont moins bons que pour l'approche partie réelle/imaginaire, notamment en termes de snr et de visuel. L'erreur de phase après processeur SAR est aussi un critère significatif : celle-ci est nettement plus faible dans une approche réel/imaginaire que dans une approche module/ phase.

Pour améliorer ces résultats, on aurait pu envisager d'appliquer sur le module une Transformée en Ondelettes [7] peu coûteuse, et qui aurait permis de rendre la statistique plus adaptée au codage.

Essais	Méthodes	snr après (db)	débit binaire
essai 1	- Re,Im : QS, pas de 64	7	2x2 bpp
essai 2	- Re,Im: BAQ 2bpp	5,6	2x2 bpp
essai 3	- Re,Im : BAQ 3bpp	18	2x3 bpp
essai 4	- Re,Im: QV, 256 vecteurs 4x1 dans TS1	12,55	2x2 bpp
essai 5	- Re,Im : QV, 256 vecteurs 4x1 dans TS2	12,1	2x2 bpp
essai 6	- Re,Im : QV, 256 vecteurs 4x1 dans TS3	12,63	2x2 bpp
essai 7	- Re,Im : QV, 256 vecteurs 2x2 dans TS1	11,6	2x2 bpp
essai 8	- Re,Im : QV, 256 vecteurs 1x4 dans TS1	11,9	2x2 bpp
essai 9	- Module : QV, 256 vecteurs 4x1 dans Training Sequence du module lui-même - Phase : QS, pas de 64 / QV 256 vecteurs 4x1 dans Training Sequence de la phase	10,36	2x2 bpp

figure 2 : résultats quantitatifs

6. CONCLUSION

Concernant le choix des deux approches, on constate que dans le cas module et phase, les différents critères de qualité sont médiocres; l'erreur de phase après processeur SAR n'est pas bien maîtrisée. L'approche partie réelle/imaginaire semble plus fiable, les résultats de codage par quantification vectorielle sont très satisfaisants, notamment si l'on considère les facilités (robustesse) de constitution du dictionnaire. Cette méthode, moyennant quelques variantes, figure d'ailleurs parmi les méthodes présentant le meilleur rapport qualité/coût pour la compression de signaux bruts SAR [8,9,10,11,12,13]. On peut cependant envisager de diminuer encore le coût en appliquant des méthodes telles que les réseaux réguliers de points (lattices) [14]. Tous ces résultats méritent donc d'être confirmés sur des signaux réels SAR.

Références :

- [1] "Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing", Curlander, McDonough, Wiley series in remote sensing, Wiley Interscience.
- [2] "Principe de l'imagerie haute résolution au moyen d'un radar à ouverture synthétique embarqué sur satellite", P. Olivier, note technique CRPE/179
- [3] "Synthetic Aperture Radar Simulation on radar terrain clutter", P. Armand et D. Vidal-Madjar, Proceeding of IGARSS 92, Houston, May 92,p 189-191
- [4] "Vector Quantization and Signal Compression", A. Ghercho, M. Gray, Ed. KAP.



- [5] "Block Adaptive Quantization of Magellan SAR data", R.Kwok, W. T.K. Johnson, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 27, N°4, July 1989.
- [6] "An Algorithm for vector quantizer design", Y. Linde, R.M. Gray, IEEE Trans. Comm., COM-28:84-95, January 80.
- [7] "Image Coding using Wavelet Transform", M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, I. Daubechies, IEEE Trans. on Image Processing, IP, vol 1, n°2, April 1992.
- [8] "Vector Quantization of Synthetic Array Radar Data", D.V. Arnold, Thesis submitted to the Department of Electrical Engineering Brigham Young University, June 1987.
- [9] "The Effect of Codebook Size on the Vector Quantization of SAR Data", R.V. Arnold, V.D. Vaughn, R.L. Frost; National radar Conference IEEE 1988.

- [10] "Synthetic Aperture Radar Image Formation from compressed data using a new computation technique", C.J. Read, D.V. Arnold, D.M. Chabries, IEEE AES Magazine, October 1988.
- [11] "A Computation Compression Technique for SAR based on Vector Quantization", C.J. Read, D.V. Arnold, D.M. Chabries, National Radar Conference, IEEE Apr. 1988.
- [12] "Vector Quantization used to reduce SAR Data Rates", T. Gioutsos, SPIE Vol. 1101 Millimeter Wave and SAR, 1989.
- [13] "Spatial Compression of Seasat SAR Imagery", C.Y. Chang, R. Kwok, J.C. Curlander, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 26, n°5, September 1988
- [14] "A Pyramidal Scheme for Lattice Vector Quantization of Wavelets Transform Coefficients applied to image coding", M. Barlaud, P. Solé, M. Antonini, P. Mathieu, in Proc. IEEE ICASSP, vol. 4, pp 401-404, 1992.



fig. 3 : Original de l'image à coder



fig. 4 : QS sur Re et Im, pas = 64, essai 1 (2bpp)



fig. 5 : BAQ sur Re et Im, 2bpp, essai2



fig. 6 : QV sur Re et Im, TS1 (vecteurs 4x1), essai4 (2bpp)



fig. 7 : QV sur Re et Im, TS3 (vecteurs 4x1), essai 6 (2bpp)



fig. 8 : QV sur module, QS sur phase (2bpp), essai 9