

Application de l'algorithme *Principal Component Inverse* 3D pour la détection de mines enfouies

G. GINOLHAC¹, P. GOUNON² et A. HETET³

¹Groupe d'Electromagnétisme Appliqué IUT Ville d'Avray 92410 Ville d'Avray France.

Tél : 01 47 09 45 43, Fax : 01 47 09 63 97

²Laboratoire des Images et des Signaux ENSIEG BP46 38402 Saint Martin d'Hères France.

³GESMA Brest France.

guillaume.ginolhac@cva.u-paris10.fr patrick.gounon@lis.inpg.fr hetet@gesma.fr

Résumé – Cet article s'intéresse à la réduction de fausses alarmes dans le cadre de la détection de mines sous marines enfouies. Nous proposons d'utiliser un algorithme algébrique, le *Principal Component Inverse* 3D, pour réduire l'influence de la réverbération et séparer les échos de mines entre eux. Cette méthode est testée sur des données réelles fournies par le GESMA et les résultats sont comparés à ceux donnés par des algorithmes algébriques 2D.

Abstract – This article deals with false alarms reduction in order to detect buried mines. We propose to use the 3D *Principal Component Inverse* (which is an algebraic method) algorithm to reduce reverberation as well as to separate mine echoes. This method is tested on real data provided by GESMA. Results are compared to those obtained with 2D algebraic algorithms.

1. Introduction

L'utilisation d'un Sonar à Antenne Synthétique (SAS) basse fréquence à vision latérale permet de détecter de mines sous marines enfouies [8]. Malheureusement, les réflexions du signal émis sur le fond ainsi que sur divers rochers créent beaucoup de fausses alarmes, ce qui empêche d'obtenir une détection robuste.

Nous proposons donc l'utilisation d'algorithmes du traitement du signal pour réduire ces fausses alarmes afin d'atteindre une détection correcte. Dans [5], nous avons développé deux premiers algorithmes améliorant l'interprétation des échos et permettant la réduction de la réverbération. Le premier, nommé *Multi Look SAS* (MLSAS), permet d'obtenir plusieurs images SAS avec différents angles de vues sans perte de résolution, dans le but de mieux classifier les échos détectés. La seconde méthode s'appuie sur l'algorithme *Principal Component Inverse* (PCI) 2D [1] [9], qui est un cas particulier des méthodes à sous espaces. La méthode ainsi développée permet de séparer les échos de mines entre eux et de réduire légèrement l'influence de la réverbération.

Néanmoins, nous avons conclu que ces résultats étaient insuffisants et nous proposons donc dans cet article d'améliorer la méthode précédente en utilisant un algorithme du PCI plus performant. En effet, nous pouvons montrer que les données fournies par le GESMA forment un tableau 3D. Dans [3] [6], nous avons montré que les méthodes à sous espaces, et en particulier le PCI, sont plus

performantes en les appliquant directement sur les données 3D au lieu de transformer le tableau 3D en une matrice. Ces études nous ont permis de développer un algorithme du PCI 3D qui paraît bien approprié à notre problème de détection de mines enfouies. Nous montrons que cet algorithme permet de mieux distinguer les échos de mines des échos de réverbération tout en gardant la propriété de séparer les échos de mines entre eux.

Dans un premier temps, nous présentons les données SAS fournies par le GESMA. Ensuite, les résultats de l'algorithme du PCI 2D sont donnés et commentés. Dans une dernière partie, nous montrons que le PCI 3D permet de supprimer plus d'échos de réverbération que le PCI 2D. L'algorithme est testé sur des données expérimentales et les résultats sont comparés à ceux du PCI 2D.

2. Description des données

La description de la campagne GESMA pour obtenir les données expérimentales est résumée sur la figure 1. Le sonar se déplace le long d'un rail et l'ouverture de son émetteur sphérique est égale à 30°. Le signal, une Fréquence Modulée Linéairement (FML), est émis dans plusieurs positions successives. Le récepteur est composé d'une antenne linéaire horizontale de 24 capteurs.

Nous utilisons ensuite un algorithme de synthèse d'ouverture pour former l'image finale du fond marin. La méthode choisie est développée dans [5] et s'inspire de la méthode spatio-temporelle [2]. Elle permet d'obtenir

plusieurs images SAS contenant des informations sur les échos différents mais en gardant une résolution en azimut optimale. Il est évident que ce type d'algorithme est une aide précieuse pour une première classification des échos. Pour développer cet algorithme, nous utilisons l'antenne linéaire horizontale qui permet de pointer dans une certaine direction. Dans cet article, nous nous intéressons uniquement à l'image SAS sans aucun dépointage. Elle est montrée sur la figure 2. Nous pouvons remarquer que la détection des mines enfouies 1 et 2 est très délicate en particulier à cause de la réverbération. Certains échos très facilement détectables sont en fait des mines posées sur le fond. On ne tient pas compte de ces réponses dans la suite de cet article.

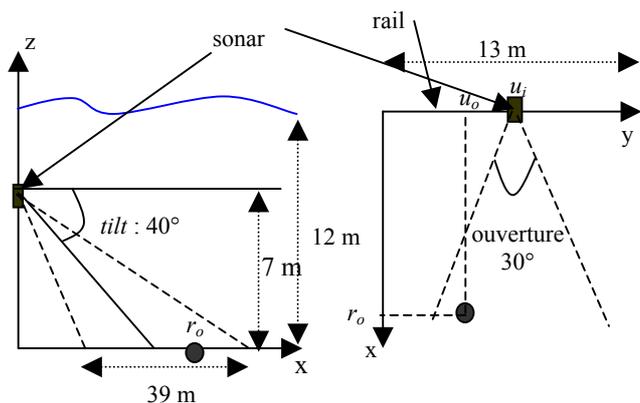


FIG. 1 : Description de l'expérimentation

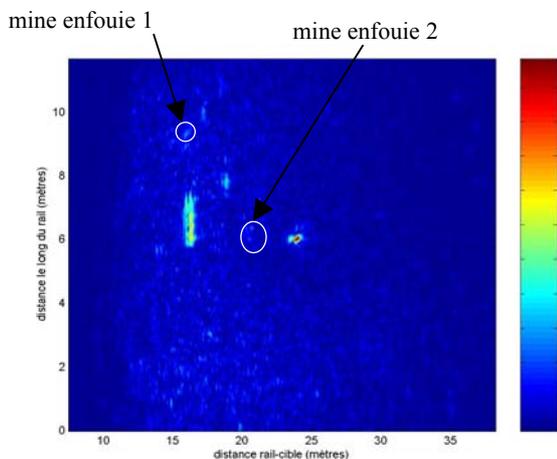


FIG. 2 : Image SAS sans réduction de fausses alarmes

3. Résultat du PCI 2D

Dans [5], nous proposons d'utiliser l'algorithme du PCI [1] [9] pour séparer les échos de mines enfouies. Comme le récepteur est une antenne et que la première étape du PCI est la formation d'une matrice, nous avons appliqué l'algorithme pour chaque récurrence (position où le sonar émet la FML) après Formation de Voies Bande Large

(FVBL). Les dimensions de la matrice d'observation correspondent à l'angle d'arrivée et au retard de l'onde. Il est important de noter que le fonctionnement du PCI 2D nécessite la connaissance d'un paramètre lié à la puissance de la cible recherchée. Cet algorithme fonctionne correctement si la réverbération a une puissance (avant filtre adapté) plus importante que les échos de mines enfouies. Or dans les données mines enfouies, plusieurs cibles potentielles sont souvent présentes qui ont en plus des puissances assez différentes. Ces caractéristiques des données entraînent donc un fonctionnement très délicat du PCI 2D. Dans le but de détecter / classifier toutes les mines enfouies mais aussi de les séparer, nous proposons de faire varier le paramètre du PCI pour toutes les valeurs possibles ; et sur chaque résultat tous les échos potentiels sont étudiés à l'aide d'un critère local. Cette démarche permet une bonne séparation des différentes mines enfouies ainsi qu'une légère diminution des échos de réverbération. La figure 3 montre le résultat de cet algorithme pour la mine enfouie 1. Les autres mines enfouies sont pratiquement toutes supprimées. Pour la réverbération, le nombre d'échos est encore trop important pour une détection robuste.

Le prochain paragraphe propose donc d'utiliser un algorithme plus évolué n'utilisant pas uniquement la puissance des échos pour séparer réverbération et mine enfouie.

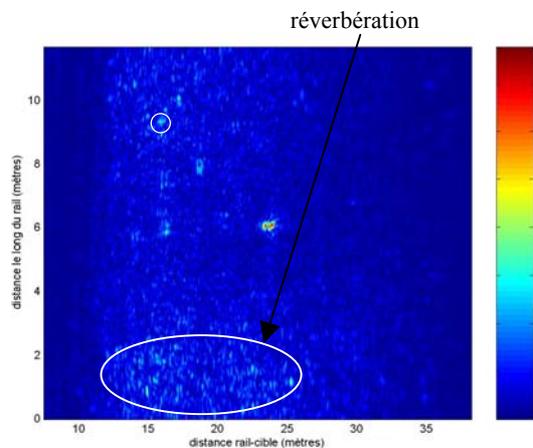


FIG. 3 : Image SAS après PCI 2D pour la mine enfouie 1

4. Application et résultat du PCI 3D

Dans le paragraphe 3, nous avons vu que chaque récurrence après FVBL forme un tableau 2D. En regroupant toutes ces récurrences, il est évident que la structure des données est un tableau 3D. Or, nous avons montré [3] [6] que les méthodes algébriques sont plus performantes quand la structure des données 3D est gardée intacte. Le PCI étant basé sur la Décomposition en Valeurs Singulières d'une matrice, nous utilisons son extension aux

tableaux multidimensionnels : la *Higher Order Singular Value Decomposition* (HOSVD) [7]. La HOSVD consiste à déplier le tableau 3D dans les 3 directions et à travailler sur les trois matrices en même temps. A partir de la HOSVD, le PCI 3D consiste à décomposer le tableau 3D original A en deux tableaux A_r et A_s tel que $A = A_r + A_s$, A_r et A_s décrivant respectivement le sous espace de réverbération et le sous espace mines enfouies plus bruit blanc. Comme dans le cas 2D, cet algorithme dépend d'un paramètre que nous faisons varier pour permettre la séparation des mines enfouies. La figure 4 présente la méthode pour appliquer le PCI 3D aux données SAS fournies par le GESMA.

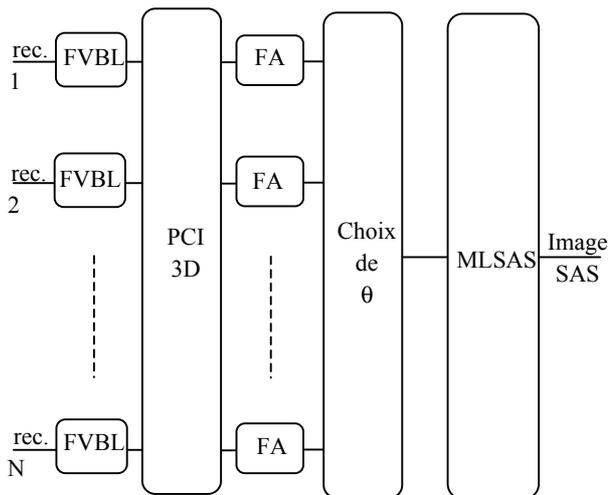


FIG. 4 : application du PCI 3D aux données SAS

L'intérêt de cet algorithme provient des trois matrices dépliées prises en compte en même temps dans le traitement. Cet apport permet d'obtenir plus d'informations sur les échos que uniquement la puissance utilisée dans les algorithmes 2D. Par exemple, nous avons utilisé dans [6] le mouvement de la cible par rapport à la stabilité de la réverbération de fond pour nettement améliorer les performances de détection par rapport au PCI 2D. Dans notre configuration, tous les échos sont immobiles mais ont néanmoins des propriétés de forme, d'enfouissement, ... différentes. Nous proposons d'étudier le cas simple d'un point brillant pour mieux comprendre la signification des matrices dépliées et ainsi utiliser l'algorithme du PCI 3D correctement.

La figure 5 représente le tableau 3D contenant la réponse d'un écho (provenant d'un point brillant). L'écho n'arrive pas avec le même retard pour chaque récurrence à cause du déplacement du sonar. En revanche, l'angle d'arrivée peut être considéré comme constant si qu'une partie des récurrences est traitée. La première matrice dépliée est très délicate à interpréter dans cette configuration car la réponse de l'écho est découpée. Les deux dernières matrices dépliées sont représentées sur la figure 6. Nous remarquons que les vecteurs dans la seconde matrice dépliée sont différents car le retard change avec la

récurrence. Cela signifie qu'un écho ponctuel est décrit par plusieurs valeurs singulières. Donc, la puissance d'un écho est disséminée sur plusieurs valeurs singulières dans cette matrice dépliée. En revanche, seule une ligne dans la troisième matrice dépliée est remplie (l'écho est toujours sur la même voie) ce qui fait qu'un écho est uniquement décrit par une valeur singulière. Donc, la puissance de l'écho est concentrée sur une unique valeur singulière dans cette matrice dépliée. Cette dernière matrice nous semble la plus intéressante pour notre but de supprimer la réverbération. En effet, la plupart des réponses de mines enfouies contiennent plusieurs échos, et en conséquence, il est probable que plusieurs lignes soient remplies. Dans ce cas, la cible est décrite par plusieurs valeurs singulières ce qui permet de séparer cette cible d'un écho de réverbération même dans le cas où la puissance de la cible est plus importante que celle de l'écho de réverbération. Par rapport aux algorithmes 2D, le PCI 3D devrait permettre de supprimer plus d'échos de réverbération. Par exemple, la mine enfouie 1 a une réponse assez particulière contenant plusieurs échos par rapport aux échos de réverbération beaucoup plus ponctuels. Pour la seconde matrice dépliée, il faudrait une étude plus approfondie en particulier avec des cibles plus complexes qu'un simple point brillant. Mais il est probable que cette matrice contienne beaucoup d'information permettant par exemple de séparer plus efficacement les réponses de mines entre elles.

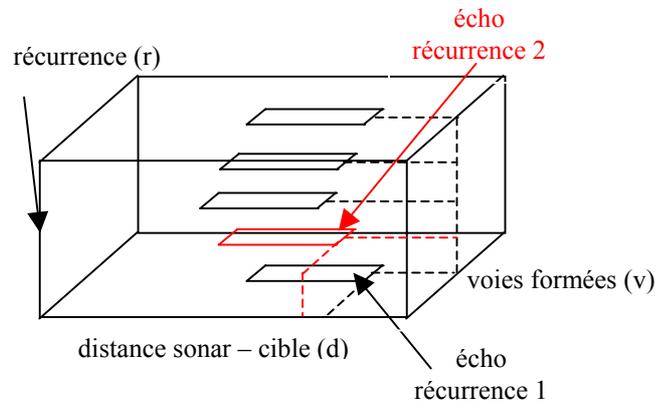


FIG. 5 : Représentation du tableau 3D dans le cas d'un point brillant

Le résultat du PCI 3D en utilisant la troisième matrice dépliée pour la mine enfouie 1 est présenté sur la figure 7 (à comparer avec la figure 3). Comme prévu, nous remarquons qu'une bonne part de la réverbération est supprimée et que la réponse de cette mine est pratiquement unique. Sur la figure 8, nous présentons le résultat pour la mine enfouie 2. Le résultat est moins probant car les échos provenant de la mine 1 mais aussi de rochers sont restés mais en revanche les échos de réverbération ont nettement diminué. On espère améliorer ce résultat en tenant compte de la seconde matrice dans une prochaine étude.

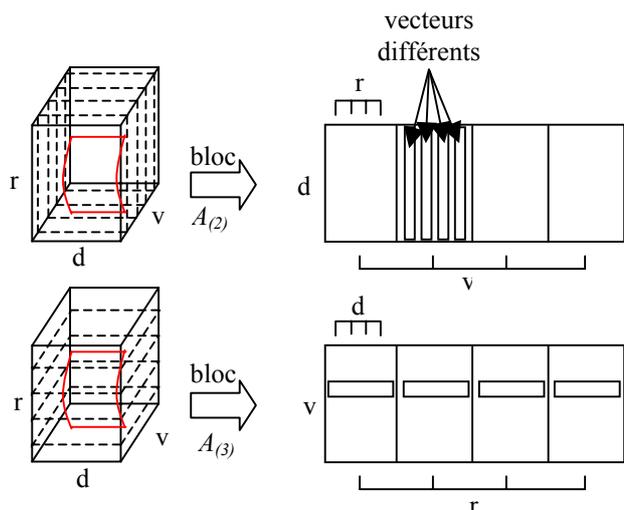


FIG. 6 : Seconde et troisième matrices dépliées dans le cas d'un point brillant

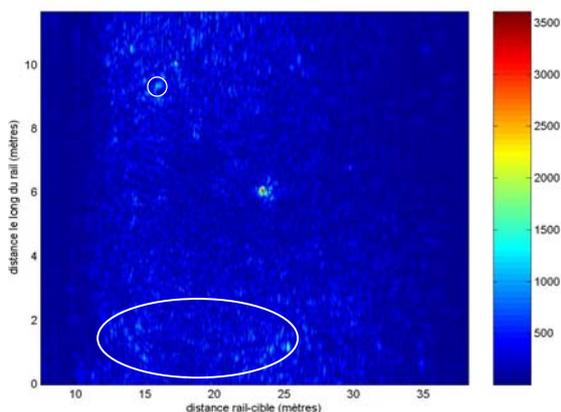


FIG. 7 : Image SAS après PCI 3D pour la mine enfouie 1

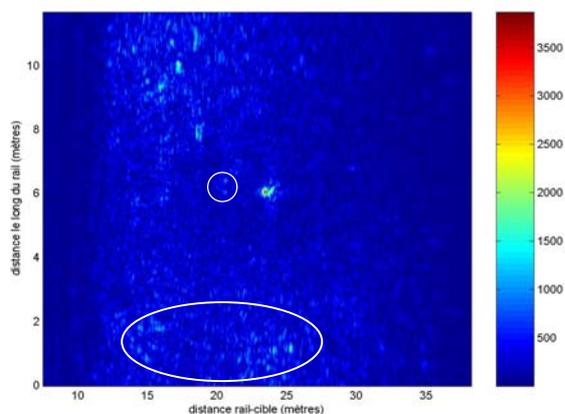


FIG. 8 : Image SAS après PCI 3D pour la mine enfouie 2

5. Conclusion

Cet article a présenté une méthode efficace pour réduire les fausses alarmes provenant de la réverbération dans le cadre de la détection de mines enfouies par SAS à vision latérale. La méthode est basée sur l'algorithme du PCI 3D qui tient compte de la structure 3D des données et permet une meilleure séparation des échos que les algorithmes 2D. En effet, le PCI 3D utilise, en plus de la puissance des échos, la forme de la réponse dans le tableau 3D. Les résultats sur données réelles sont plutôt probants.

La perspective la plus importante concerne l'étude de la structure du tableau 3D pour des cibles complexes pour permettre de développer plusieurs méthodes de détection / classification à partir du PCI 3D. Pour cette étude, nous désirons intégrer la modélisation physique.

Références

- [1] I. P. Kirsteins and D. W. Tufts, "Adaptive detection using low rank approximation to a data matrix". *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, January 1994.
- [2] D. W. Hawkins. *Synthetic Aperture Imaging algorithms: with applications to wide bandwidth sonar*. PhD report, University of Canterbury, New Zealand, 1996.
- [3] N. Le Bihan and G. Ginolhac, "Subspace Methods for 3D arrays", *PSIP 2001*, Marseille, France, Janvier 2001.
- [4] A. Hetet. *Classification dans les sédiments par SAS basse fréquence. Compte rendu d'essai*. Rapport GESMA, Juillet 2000.
- [5] G. Ginolhac, P. Gounon, S. Ioan and A. Hetet, "False alarm reduction for the buried mine detection", *PSIP 2003*, Grenoble, France, Janvier 2003.
- [6] G. Ginolhac et G. Jourdain, "Utilisation de la diversité temporelle pour la détection en présence de réverbération", *GRETSI'01*, Toulouse, France, Septembre 2001.
- [7] L. De Lathauwer. *Signal Processing based on multilinear algebra*. Rapport de thèse, Université Catholique de Louvain, 1997.
- [8] I. P. Kirsteins, J. Fay and J. Kelly, "Suppressing Reverberation by multipath separation for improved buried object detection", *OCEANS 2001*, Honolulu, USA, October 2001.
- [9] G. Ginolhac et G. Jourdain, "PCI algorithm for detection in presence of reverberation", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, April 2002.