MATRICE INTERSPECTRALE : ESTIMATIONS ET COMPARAISON DE MÉTHODES

N. Nejjar, Jean-Baptiste Faure, F. Vial

► To cite this version:

N. Nejjar, Jean-Baptiste Faure, F. Vial. MATRICE INTERSPECTRALE : ESTIMATIONS ET COMPARAISON DE MÉTHODES. Journal de Physique Colloques, 1990, 51 (C2), pp.C2-687-C2-690. 10.1051/jphyscol:19902160 . jpa-00230463

HAL Id: jpa-00230463

<https://hal.science/jpa-00230463>

Submitted on 1 Jan 1990

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MATRICE INTERSPECTRALE : ESTIMATIONS ET COMPARAISON DE MÉTHODES

N. NEJJAR, B. FAURE et F. VIAL

CEPHAG, INPG/ENSIEG, URA CNRS 346, BP. 46, F-38406, Saint Martin
d'Hères Cedex, France

Résumé - Dans beaucoup de domaines de traitement du signal (sismique, acoustique sous-marine, traitement d'antenne ...), l'estimation de la matrice d'intercorrélation (en temps) ou interspectrale (en fréquence) des signaux reçus est une étape préalable à tout traitement. Nous présentons dans cet article plusieurs méthodes d'estimation de cette matrice qui sont basées soit sur un moyennage arithmétique, soit sur un moyennage par fonctions d'apodisation (Hanning, Hamming, ...). Nous avons choisi comme critère de décision deux algorithmes d'azimétrie (music et propagateur) parce que l'objectif de l'étude est d'estimer la matrice interspectrale en vue de la caractérisation de sources rayonnantes. Nous présentons des résultats obtenus avec des signaux expérimentaux d'acoustique sous-marine.

Abstract - In most domains of signal processing (seismic, underwater acoustic, array processing ...) the cross-spectral matrix estimation (in time or frequency) is a preable step to any treatment. In this paper, we present different estimation methods based on arithmetic smoothing or on a filtrage by Tuckey (Hanning, Hamming ...) functions, called smooth periodogram. The decision criteria is illustrated by two high resolution algorithm because our problem is sources identification. We present results on experimental underwater acoustic signals.

1 - INTRODUCTION

Dans beaucoup de domaines du traitement du signal (sismique, acoustique sous-marine, traitement d'antenne ...) l'estimation de la matrice d'intercorrélation (en temps) ou interspectrale (en fréquence) des signaux reçus est une étape préalable à tout traitement.

Dans le domaine qui nous intéresse, le traitement d'antenne en acoustique sous-marine en vue de l'identification et de la caractérisation des sources rayonnantes ou/et du milieu, l'estimation de la matrice interspectrale requiert la plus haute importance.

Nous présentons deux méthodes d'estimation de cette matrice : la première, généralement utilisée, est basée sur un moyennage simple des interspectres, et la seconde, appelée périodogramme lissé, consiste en un moyennage par des fonctions d'apodisations (Hanning). Sur les mêmes données expérimentales, nous appliquons ces deux méthodes d'estimation et présentons également les résultats issus de la conjugaison des deux.

Ajoutons que ce qui nous intéresse c'est l'estimation de la matrice interspectrale en vue de l'azimétrie (directions et puissances) des sources.

2 - MÉTHODES D'ESTIMATION DE LA MATRICE INTERSPECTRALE

Avant de parler des méthodes proprement dites, précisons le contexte de notre travail et ses objectifs. Nous sommes en présence d'une antenne constituée de N capteurs et recevant les ondes provenant de n sources (n peut-être inconnu). Le problème qui se pose est de déterminer les directions de ces sources (par rapport à la normale à l'antenne) ainsi que leurs puissances.

Nous avons donc choisi de prendre comme critère de décision deux algorithmes d'azimétrie (méthodes à haute résolution) à partir de la matrice interspectrale.

Le premier algorithme est MUSIC /2,4,5/, basé sur les éléments propres de la matrice interspectrale, et le second est le PROPAGATEUR /1,2,5/ basé sur un partitionnement de cette dernière. Nous ne présentons pas les deux algorithmes mais juste leurs résultats.

Soit $\underline{y}$ le vecteur N-dimensionnel des signaux reçus sur l'antenne, la matrice interspectrale s'écrit $\Gamma = E[\underline{y} \underline{y}^+]$, où E désigne l'espérance mathématique, + l'opérateur hérmitien et $\underline{y}$ le vecteur "transformée de fourier" de $\underline{y}$.

2.1 - Méthode classique

Classiquement, on estime la matrice interspectrale des signaux reçus comme étant une moyenne arithmétique sur K échantillons des signaux reçus :

$$\Gamma = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \underline{y}_k \underline{y}_k^+$$

L'estimation de Γ s'approche d'autant plus de sa valeur théorique que K est grand.

Deux paramètres sont d'importances lors de cette estimation : le nombre d'échantillons K et la longueur temporel des échantillons. Parallèlement à l'estimation, plus le nombre de moyennes K est grand plus les sources sont décorréliées entre elles. La limite $K \geq N$ est nécessaire pour que les sources ne soient pas totalement corrélées. Or la décorrélation (ou le peu de corrélation) entre sources est une condition de validité des algorithmes de décision choisis. Ajoutons que plus le support temporel des échantillons est court plus le risque d'avoir des sources fortement corrélées est grand.

2.2 - Le périodogramme lissé

La méthode du périodogramme lissé /3/ ou moyennage par des fonctions d'apodisation (Hanning) nécessite un échantillon du vecteur des signaux reçus (temporel ou fréquentiel).

C. Latorbe /3/ a montré qu'il y a une équivalence entre un moyennage arithmétique et un moyennage par fonction d'apodisation en fonction de la puissance de cette dernière. Ces fonctions d'apodisation sont caractérisées par leurs puissances

Fig. 1 Plusieurs fonctions d'apodisation

Soit x_i et x_j les deux échantillons correspondants respectivement aux capteurs i et j. Nous calculons l'intercorrélation $s_{ij} = x_i x_j^*$ et nous la moyennons (lissage) en la multipliant par la fonction d'apodisation choisie. S_{ij} étant la transformée de fourier du résultat, Γ_{ij} (élément ij de la matrice interspectrale à une fréquence donnée) est égale à la valeur de l'échantillon S_{ij} à la même fréquence. Ainsi, la matrice interspectrale est calculée en multipliant les intercorrélations et les autocorrélations des échantillons des signaux reçus par les fonctions d'apodisation, puis en passant dans le domaine fréquentiel.

Nous présentons par la suite les résultats d'une méthode qui couple les deux précédentes. En effet, on peut envisager : soit de prendre plusieurs échantillons successifs, de calculer les matrices interspectrales correspondantes par périodogramme lissé et faire une moyenne arithmétique de ces dernières ; soit de moyennner arithmétiquement les échantillons des signaux reçus et ensuite d'estimer la matrice interspectrale par périodogramme lissé.

Nous appliquons ces différentes méthodes d'estimation de la matrice interspectrale à un cas de signaux réels issus d'une expérimentation en acoustique sous-marine.

3 - APPLICATION EN ACOUSTIQUE SOUS-MARINE

Nous avons appliqué les différentes méthodes d'estimation de la matrice interspectrale au cas de signaux réels issus d'une expérimentation en acoustique sous-marine. Nous présentons les résultats en rappelant que les critères choisis sont les deux algorithmes d'azimétrie (MUSIC et PROPAGATEUR) sachant que le but est d'utiliser l'estimée de la matrice interspectrale pour caractériser des sources en traitement d'antenne.

3.1 - Présentation de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée en atlantique et a mis en oeuvre un émetteur, immergé à 30 mètres et, distant de 45 km, un réseau vertical constitué de 16 capteurs équidistants de $\lambda/2$ immergé à 160 mètres.

Les sources à localiser sont en fait les sites des différents trajets de propagation issus de l'excitation monochromatique de l'émetteur.

3.2 - Résultats

A partir des signaux reçus sur les 16 capteurs de l'antenne, nous estimons la matrice interspectrale sur une durée globale de 5.4 sec. Toutefois, cette durée a été traitée soit comme un seul échantillon temporel moyenné en fréquence par une fonction d'apodisation de puissance égale à 8, soit divisée en 8 ou 32 échantillons avec un lissage par fonction de Hanning de puissance 0, 4 ou 16.

Afin de comparer les différents résultats, on introduit la notion d'équivalent moyenne (EM) en considérant le produit du nombre de moyennes temporelles par le BT de la fonction d'apodisation utilisée. Les résultats se divisent en 3 groupes :

a - EM < 16 (nombre de capteurs)

obtenu par :

* 1 échantillon temporels x (pondération)⁸ -----> EM = 7 (Fig. 2.a)

* 8 échantillons temporels x sans pondération -----> EM = 8 (Fig. 2.b)

Dans ce cas de figure, les deux algorithmes ne convergent pas vers les mêmes solutions (biais trop important) et on ne peut pas conclure sur le nombre de trajets, leurs sites ou leurs amplitudes.

Fig. 2.a et Fig. 2.b Sitométrie et intensitométrie pour EM =7 et EM =8 respectivement

b - EM > 16

obtenu par :

* 8 échantillons temporels x (pondération)⁴ -----> EM = 40 (Fig. 3.a)

* 32 échantillons temporels x sans pondération -----> EM = 32 (Fig. 3.b)

On constate une relative diminution du biais en site pour la majorité des solutions même si le nombre de sites total n'est pas le même pour les deux algorithmes.

Fig. 3.a et Fig. 3.b sitométrie et intensitométrie pour EM =40 et EM =32 respectivement

c - EM >> 16

obtenu par :

* 32 échantillons temporels x (pondération)¹⁶ -----> EM = 322 (Fig. 4)

Dans ce cas, il y a convergence en site et en amplitude des 2 algorithmes de localisation avec le même nombre total de solutions pour chacun.

Fig. 4 sitométrie et intensitométrie pour EM = 322

4 - CONCLUSION

L'estimation de la matrice interspectrale est très importante pour le traitement d'antenne et nous avons montré dans cette étude que sur une durée donnée de signaux expérimentaux reçus sur une antenne, il était possible d'estimer cette matrice interspectrale de plusieurs façons : soit en moyennant arithmétiquement les interspectres, soit en les moyennant par des fonctions d'apodisation, soit en conjuguant les deux procédés. Le critère de décision choisi est basé sur la convergence en site et en amplitude de deux algorithmes de localisation, MUSIC et PROPAGATEUR, et nous avons montré sur cet exemple réel que la convergence était d'autant meilleure que l'équivalent moyenne était grand. Toutefois une étude complémentaire utilisant des signaux connus est en cours afin d'appréhender de façon plus formelle la contribution de chaque moyennage.

Remerciements

Cette étude a été conduite avec le soutien de la DCAN.

Références

- /1/ Munier, J., Traitement du Signal 4 n°4 (1987), 281-296
- /2/ Nejjar, N., Rapport CEPHAG n°50/88 (1988)
- /3/ Latombe, C., thèse de Doctorat d'état, INPG, (1982)
- /4/ Bienvenue, G. and Kopp, L., IEEE-ASSP, 31 n°5, (1983), 1235-1247
- /5/ Nejjar, N. and Tas, I., Congrès SFA, 34, (1990)