

Traitement de signal multifréquentiel appliqué à l'estimation angulaire de sources corrélées

Serge Paré, étudiant 2^e cycle

Dr Dominic Grenier, directeur de recherche

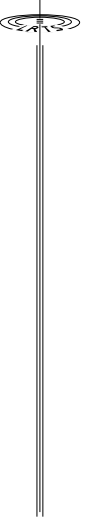
Abstract: Second-order methods used in array signal processing for high resolution directions-of-arrival estimation (DOA) are limited by the correlation between emitting sources. DEESE and spatial smoothing are algorithms which use space diversity to decorrelate and to identify sources locations without losing their high-resolution effectiveness. The decorrelation given by DEESE and spatial smoothing depends on phase relation between sources. Because phase and frequency are closely related, decorrelation can be improved by the use of multiple frequency.

Résumé: Les méthodes du deuxième ordre basées sur les notions de sous-espaces source et bruit utilisées en traitement de signal pour l'estimation de la direction des sources (DOA) à l'aide d'un réseau de capteurs sont inefficaces lorsque la corrélation entre les sources rayonnantes est élevée. Les algorithmes basés sur la diversité d'espace tels le lissage spatial et DEESE offrent une décorrélation élevée dans certaines situations et faible dans d'autres. On démontre que le facteur de corrélation effectif après traitement par diversité d'espace dépend de la relation de phase entre les sources laquelle varie selon la fréquence. La décorrélation peut donc être améliorée en opérant à fréquence multiple.

Les techniques de traitement de signal superrésolutives (MUSIC, ESPRIT, etc...) basées sur la matrice d'autocorrélation spatiale \mathbf{R}_{xx} et sur l'identification des sous-espaces source et bruit permettent la localisation des sources rayonnantes avec un pouvoir résolvant dépassant le critère de Rayleigh.

Ces algorithmes sont assez performants du point de vue de l'identification des sources. Une prémisses fondamentale pour le bon fonctionnement de ces algorithmes est que la corrélation entre les sources rayonnantes ne soit pas trop élevée (<70%). Pour des situations réelles comme l'écoute active en détection radar (propagation multitrajet et brouilleur radar), la corrélation entre les sources rayonnantes est souvent élevée et les performances de ces algorithmes sont grandement dégradées.

Les algorithmes de décorrélation tels DEESE (DÉcomposition de l'Espace Source Estimé) et le lissage spatial (spatial smoothing) permettent de composer avec un environnement forte-



ment corrélé (spatialement non stationnaire). Ces algorithmes basés sur la diversité d'espace agissent comme prétraitement sur la matrice d'autocorrélation spatiale \mathbf{R}_{xx} .

Ces algorithmes fonctionnent bien dans certaines situations et moins bien dans d'autres. Une étude plus approfondie a permis de comprendre que le facteur de corrélation effectif après traitement par diversité d'espace était fonction à la fois du déphasage spatial entre les sources φ_{ij} (direction des sources) et du déphasage entre les fronts d'ondes incidents sur le réseau τ_{ij} . Il est démontré que le facteur de corrélation effectif après traitement $\delta_{ij(r)}$ est égal à [1]:

$$\delta_{ij(r)} = \frac{\delta_{ij}}{r} \cdot \frac{\sin(r\varphi_{ij}/2)}{\sin(\varphi_{ij}/2)} \cdot \cos(\tau_{ij}) \quad (1)$$

$$\varphi_{ij} = \frac{2\pi}{v} fd(\sin\theta_i - \sin\theta_j) \quad \tau_{ij} = \frac{2\pi}{v} f\Delta d$$

où r est le nombre de sous-réseaux, d est la distance entre les capteurs, θ_i est la position spatiale de la source i , f est la fréquence d'opération, Δd est le déphasage entre les fronts d'ondes incidents sur le réseau de capteurs converti en distance, δ_{ij} est le facteur de corrélation effectif entre les sources i et j avant traitement par diversité d'espace et v est la vitesse de propagation de l'onde qui dépend du milieu physique de propagation (aérien, sous-marin, etc.) et du type d'onde utilisé (acoustique, électromagnétique, etc.). Comme φ_{ij} et τ_{ij} dépendent de la fréquence d'opération, il est possible d'améliorer la décorrélation en jumelant la diversité en fréquences à la diversité d'espace.

L'algorithme utilisant la diversité en fréquences doit permettre la récupération d'une matrice d'autocorrélation spatiale se rapprochant le plus de la forme toeplitz, c'est-à-dire de la stationnarité spatiale.

Parmi les solutions envisagées, l'utilisation des matrices focalisantes [2] permet de transposer à la fréquence de focalisation f_0 chacune des matrices d'autocorrélation spatiale décorrélée $\mathbf{Q}(f_i)$ provenant de chacune des fréquences f_i , $i=1\dots J$.

La première étape consiste à décorréler chacune des matrices $\mathbf{R}_{xx}(f_i)$ à l'aide d'une version modifiée de DEESE qui utilise un vecteur de pondération [3] dont chaque élément pondère chacun des sous-réseaux. Dans certaines situations, la décorrélation est totale. La deuxième étape consiste à focaliser les matrices décorrélées en utilisant à nouveau un vecteur de pondération. La matrice finale possédera la forme toeplitz tout dépendamment du nombre de fréquences utilisées pour le traitement, du nombre de sous-réseaux et du nombre de sources corrélées.

Le vecteur de pondération est calculé à partir des données afin de minimiser une fonction d'erreur définie à partir de l'écart entre les éléments de la matrice finale et la matrice toeplitz normalement obtenue dans le cas d'un environnement non corrélé.

Le principal désavantage de la focalisation est qu'elle requiert un estimé préalable de l'angle d'arrivée des sources calculé à partir d'une simple transformée de Fourier spatiale. Le processus est donc adaptatif.

Le graphique qui suit est le résultat d'une simulation dans la bande X. Huit fréquences discrètes linéairement espacées ont été utilisées pour l'identification de 3 sources cohérentes (-1° , 1° , 3°) avec un réseau linéaire de 12 capteurs omnidirectionnels. Avec l'utilisation des vecteurs de pondération, la décorrélation est de plus de 99% alors qu'elle est d'au plus 7% sans les vecteurs de pondération. En dépit du fait que les résultats semblent un peu moins précis avec l'utilisation des vecteurs de pondération, il est plus facile d'identifier le nombre de sources présentes. Les deux méthodes donnent des pseudo-spectres qui se confondent.

Table 1: Estimés angulaires

Méthode	Source -1°	Source 1°	Source 3°
Sans pondération	-0.9997	1.0010	3.0003
Avec pondération	-1.0274	0.9953	3.0229

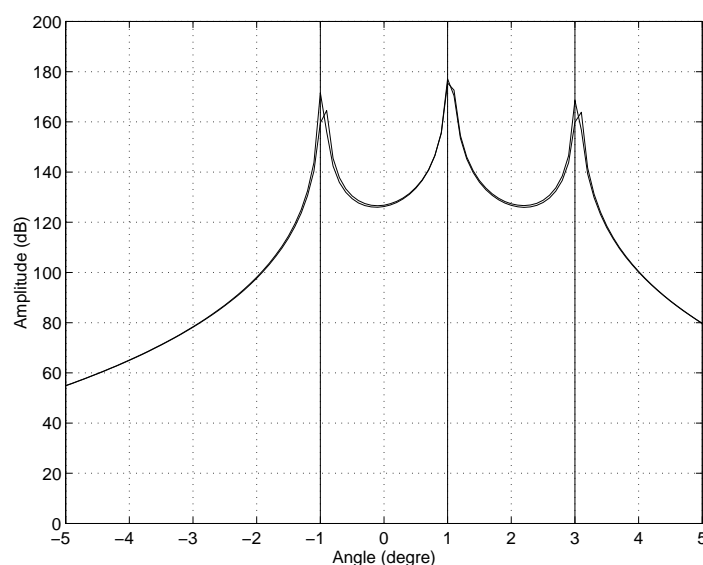


Figure 1 Pseudo-spectre de MUSIC avec et sans pondération

[1] D. Grenier, *Effective Correlation Factor After Translationnal and Rotationnal Invariances Processing: Spatial Smoothing and DEESE Methods*, in Proc. of 7th SSAP Workshop, Québec (CANADA), juin 1994, pp. 121-125.

[2] H. Hung and M. Kaveh, *Focusing Matrices for Coherent Signal-Subspace Processing*, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Proc., pp. 1272-1281, août 1988.

[3] K. Takao and N. Kikuma, *An Adaptive Array Utilizing an Adaptive Spatial Averaging Technique for Multipath Environments*, IEEE Trans. Antennas and Propagation, pp. 1389-1396, décembre 1987.

