



Algorithmes rapides pour l'estimation des directions d'arrivée de fronts d'onde fortement corrélés

Christian Lagarde, étudiant 2^e cycle

Dr Dominic Grenier, directeur de recherche

Abstract: Our goal is to optimize the DEESE algorithm proposed by D. Grenier for Direction-of-Arrival estimation of highly correlated wave fronts with antenna arrays in order to make it more adapted to real-time applications. This algorithm resides in applying a preprocessing to the estimated spatial correlation matrix before using the MUSIC method, which implies an eigenvalue decomposition of the correlation matrix. We have shown that such a preprocessing can be applied directly to the sample vectors. This allows to significantly reduce the dimension of the eigenvalue problem and hence, to significantly reduce the execution time of the algorithm.

Résumé: Notre but est d'optimiser l'algorithme DEESE développé par D. Grenier pour l'estimation angulaire de fronts d'onde fortement corrélés à l'aide d'antennes-réseau afin de le rendre mieux adapté aux applications temps-réel. Cet algorithme consiste en un prétraitement sur la matrice d'autocorrélation spatiale estimée avant d'appliquer la méthode MUSIC, laquelle implique une décomposition en valeurs propres de cette dernière matrice. Nous avons démontré qu'un tel prétraitement peut se faire directement sur les échantillons et que la dimension du problème de décomposition en valeurs propres, et par le fait même le temps d'exécution peuvent être significativement réduits.

Les méthodes basées sur la notion de sous-espace, tel que Pisarenko, MUSIC et ESPRIT[1], sont parmi les plus efficaces pour l'estimation angulaire de fronts d'ondes à l'aide d'antennes-réseau. Toutefois, ces méthodes considèrent des fronts d'onde peu corrélés et sont mal adaptées aux applications temps-réel.

Une approche bien connue pour le cas des fronts d'onde fortement corrélés est celle de la diversité d'espace. Cette approche consiste à d'abord diviser le réseau d'antennes en plusieurs sous-réseaux et de sommer les matrices d'autocorrélation spatiale obtenues pour chaque sous-réseau afin d'obtenir une matrice d'autocorrélation dite "lissée". Ensuite, un algorithme standard tel que MUSIC ou ESPRIT est appliqué sur cette matrice. L'algorithme DEESE proposé par Grenier[2] apporte une amélioration significative à la diversité d'espace en décomposant l'espace source estimé plutôt que l'espace entier.

Plusieurs approches ont été proposées pour réduire la complexité algorithmique des méthodes basées sur la notion de sous-espace. Ces approches permettent une réduction du nombre de calculs en exploitant certaines propriétés des signaux reçus, notamment celle de la présence d'un bruit blanc non-corrélé avec le signal. Il est facile d'étendre ces approches à la diversité d'espace mais l'extension à DEESE n'est pas tout aussi évidente. Les approches proposées pour réduire la complexité algorithmique sont applicables lorsque des prétraitements sont faits directement sur les échantillons. La version originale de DEESE consiste en un prétraitement qui ne peut être fait que sur la matrice d'autocorrélation spatiale. Nous avons donc tenté de trouver des prétraitements pouvant être appliqués directement sur les échantillons et qui procurent néanmoins des résultats semblables à ceux obtenus avec DEESE. Un prétraitement sur les échantillons prend généralement la forme suivante:

$$\mathbf{y}_{(k)} = \mathbf{M}_{(k)}\mathbf{x}_{(k)} \quad (1)$$

où $\mathbf{x}_{(k)}$ désigne le vecteur des échantillons acquis à l'instant k (le premier élément de ce vecteur correspond au signal échantillonné du premier capteur, le deuxième élément correspond à celui du deuxième capteur, etc...). $\mathbf{M}_{(k)}$ désigne une matrice de dimension $N \times N$ où N est le nombre de capteurs. $\mathbf{y}_{(k)}$, de dimension $N \times 1$, désigne le vecteur prétraité. Certains raisonnements ainsi qu'une approximation justifiée permettent de conclure que le choix suivant pour $\mathbf{M}_{(k)}$ procure des résultats équivalents à ceux obtenus avec l'algorithme DEESE:

$$\mathbf{M}_{(k)} = \mathbf{E}_{S(k)}\mathbf{E}_{S(k)}^H \quad (2)$$

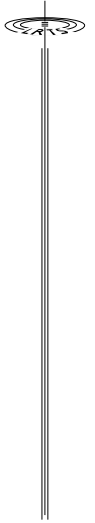
où $\mathbf{E}_{S(k)}$ contient les g premiers vecteurs propres de la matrice d'autocorrélation de \mathbf{x} à l'instant k , g étant le nombre de groupes de sources fortement corrélées. Nous avons nommé ce prétraitement "prétraitement par projection" car il consiste à projeter le vecteur $\mathbf{x}_{(k)}$ sur le sous-espace signal obtenu par la décomposition en valeurs propres de \mathbf{R}_x à l'instant k .

Voici en résumé les étapes à suivre pour la mise à jour de l'estimation des directions d'arrivée de g groupes de fronts d'onde corrélés, n fronts d'ondes au total ($n \geq g$) suite à l'ajout d'un vecteur d'échantillons en utilisant le prétraitement par projection:

1) Mettre à jour les g premiers vecteurs propres de la matrice d'autocorrélation \mathbf{R}_x . Cela peut être fait en utilisant plusieurs méthodes, notamment celle proposée par Karasalo[3]. Si cette dernière méthode est utilisée, la mise à jour demande $O(Ng^2) + O(g^3)$ opérations.

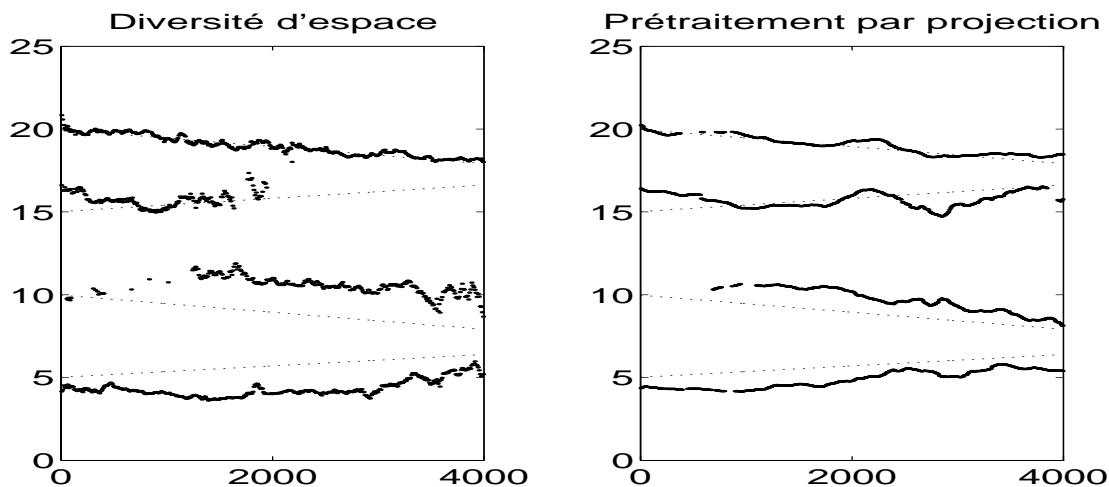
2) Calculer le vecteur prétraité selon (1) et (2). Cela demande $O(Ng)$ opérations.

3) Former à partir de ce vecteur de dimension N , r vecteurs plus petits de dimension $m = N - r + 1$, r étant le nombre de sous-réseaux. Le premier de ces vecteurs contient les éléments y_1, y_2, \dots, y_m , le deuxième contient y_2, y_3, \dots, y_{m+1} , etc ... Pour chacun de ces vecteurs, appliquer la méthode de Karasalo[3] pour mettre à jour les n premiers vecteurs propres de la matrice lissée de \mathbf{R}_y . Cela demande $O(mrn^2) + O(mn^3)$ opérations.



4) Calculer les nouveaux estimés avec ROOT-MUSIC[1].

Nous avons simulé $K = 4000$ vecteurs d'échantillons. La dimension du réseau était $N = 25$. La distance entre capteurs était d'une demi longueur d'onde. Les 3 premières sources étaient fortement corrélées. La source initialement située à 20 degrés n'était pas corrélée avec les autres. Les sources avaient une puissance de 1 dB. Les figures ci-dessous montrent les estimés obtenues avec la diversité d'espace et avec le prétraitement par projection. Les temps de calcul (pour les 3 premières étapes) sont de 0.0953 s/éch. pour la diversité d'espace et 0.1026 s/éch. pour le prétraitement par projection. On note que pour la diversité d'espace, la source initialement localisée à 15 degrés est perdue après 2000 échantillons, ce qui n'est pas le cas pour le prétraitement par projection. De plus, on note que les positions des 2 autres sources corrélées sont mieux estimées avec le prétraitement par projection. En conclusion, le prétraitement par projection procure de meilleurs résultats que la diversité d'espace, et cela malgré des temps d'exécution comparables pour les 2 approches.



Références

- [1] C. W. Therrien, *Discrete Random Signals and Statistical Signal Processing*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ 07632, 1992.
- [2] D. Grenier, G. Y. Delisle et B. Philibert. "Identification superrésolutive de sources fortement corrélées par décomposition de la base du sous-espace source estimé". *Revue Traitement du signal*, vol. 10-1:pp. 3-13, Décembre 1992.
- [3] I. Karasalo, "Estimating the Covariance Matrix by Signal Subspace Averaging", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, février 1986, pp. 8-12.