Etude et réalisation d'une instrumentation portable pour la localisation des sources acoustiques

F. Schmitt, E. Gonneau, J. Guilhot

► To cite this version:

F. Schmitt, E. Gonneau, J. Guilhot. Etude et réalisation d'une instrumentation portable pour la localisation des sources acoustiques. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C5), pp.C5-263-C5-266. 10.1051/jp4:1994553 . jpa-00253048

HAL Id: jpa-00253048

<https://hal.science/jpa-00253048>

Submitted on 1 Jan 1994

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.

Etude et réalisation d'une instrumentation portable pour la localisation des sources acoustiques

F. SCHMITT, E. GONNEAU et J.P. GUILHOT

Laboratoire d'Acoustique de Métrologie d'Instrumentation, 38 rue des 36 Ponts, 31400 Toulouse, France

Abstract : We present a study about the problem of the characterization of acoustics sources by high resolution methods (MUSIC) [1], in the aim of reducing the noisiness sound level. We develop a portable multi-channel instrumentation with simultaneous sampling on each sensors. We establish the model of the spatial coherence of the back noise in a view of an application in a reverberant sound field, and we apply a wide band formalism. Finally, we validate experimentally the instrumentation, the model of the spatial coherence and compare the MUSIC algorithm with the Capon adaptative array processing [2].

0. Introduction

Afin de réduire les niveaux sonores en milieu industriel, il existe des programmes d'acoustique prévisionnelle. Ces programmes requièrent l'introduction d'un ensemble de paramètres caractérisant les bruiteurs et le local. Nous nous sommes intéressés à la modélisation de ces bruiteurs. Nous utilisons pour cela diverses méthodes de traitement d'antenne telles que les méthodes à haute résolution et les méthodes adaptatives.

1. Méthodes à haute résolution. Algorithme MUSIC

Les hypothèses émises sur les sources à caractériser sont les suivantes : elles sont ponctuelles, omnidirectionnelles, émettent un signal à spectre étendu et sont situées à distance finie. Nous utilisons donc un modèle de propagation en onde sphérique.

1.1. Caractérisation en champ libre

Lorsque seul existe le champ acoustique direct, que le bruit de fond est spatialement incohérent et de même puissance σ^2 sur les N capteurs, la matrice des densité spectrales en sortie d'antenne s'écrit alors :
$$\Gamma(f) = \sum_{j=1}^P a_j^2 \underline{d}(R_j, \Theta_j) \underline{d}^+(R_j, \Theta_j) + \sigma^2 I \quad (1.1)$$

Avec : a_j^2 : densité spectrale de puissance de la source j
 I : matrice identité
 $\underline{d}(R_j, \Theta_j)$: vecteur modèle de propagation en onde sphérique

$\Gamma(f)$ étant hermitienne positive, ses valeurs propres λ_i sont réelles et positives et ses vecteurs propres orthogonaux. Le nombre P de valeurs propres non minimales représente le nombre de sources et les vecteurs propres qui leur sont associés constituent le sous espace source. Les $N-P$ vecteurs propres associés aux $N-P$ valeurs propres minimales forment le sous espace orthogonal ou bruit. : c'est cet espace que nous exploitons pour caractériser les sources. Le produit scalaire entre le vecteur modèle $\underline{d}(R, \Theta)$ et un vecteur propre $\underline{v}_i$ s'annule lorsque les paramètres R et Θ correspondent à ceux d'une source. En pratique nous cherchons les minima de $\underline{H}^T(R, \Theta) = \underline{d}^T(R, \Theta) B$, où B représente la matrice dont les colonnes sont les vecteurs propres du sous espace bruit. La puissance est donnée par: $A(f) = [D^{-1} V_s \Lambda_s^{-1} V_s^+ D]^{-1}$ (1.2)

Avec :

$A(f) = \text{diag} [a_1^2, \dots, a_P^2]$: matrice des densité spectrale des sources

$D = [\underline{d}(R_1, \Theta_1), \dots, \underline{d}(R_P, \Theta_P)]^T$

$V_s = [\underline{v}_1, \dots, \underline{v}_P]^T$: sous espace bruit

$\Lambda_s = \text{diag} [\lambda_1 \cdot \sigma^2, \dots, \lambda_{P-} \cdot \sigma^2]$

1.2. Caractérisation en champ diffus

Pour une application en espace clos, nous devons prendre en compte l'existence d'un champ réverbéré. Dans ce cas, nous ne pouvons plus adopter l'hypothèse d'incohérence spatiale du bruit de fond. La matrice interspectrale s'écrit alors :

$$\Gamma_r(f) = \sum_{j=1}^P a_j^2 \underline{d}(R_j, \Theta_j) \underline{d}^+(R_j, \Theta_j) + \sigma^2 J(f) \quad (1.3)$$

En connaissant $J(f)$ soit par référence de bruit seul ou par modélisation mathématique, il est possible de se ramener au cas d'un bruit spatialement incohérent en effectuant un traitement appelé blanchiment [3]:

$$\Gamma'(f) = J^{-\frac{1}{2}}(f) \Gamma(f) J^{-\frac{1}{2}}(f) = \sum_{j=1}^P a_j^2 [J^{-\frac{1}{2}}(f) \underline{d}(R_j, \Theta_j)] [J^{-\frac{1}{2}}(f) \underline{d}(R_j, \Theta_j)]^+ + \sigma^2 I \quad (1.4)$$

La matrice $\Gamma'(f)$ possède les mêmes propriétés que la matrice $\Gamma(f)$. La caractérisation se fera ici en prenant comme vecteur modèle $J^{-1/2}(f) \underline{d}(R, \Theta)$. Nous avons établi un modèle mathématique de $J(f)$ en calculant la fonction d'intercorrélation spatiale de la pression mesurée par deux microphones. Pour établir ce modèle nous supposons que le phénomène acoustique est aléatoire, stationnaire et ergodique. Nous supposons de plus que le champ est parfaitement diffus et que les modes de propagation obliques sont prépondérants. Soient $P_1(r, f)$ et $P_2(r, f)$ les transformées de Fourier des pressions acoustiques mesurées en deux points du local. La fonction d'intercorrélation s'identifie à la norme de la moyenne de l'interspectre de ces pressions sur toutes les positions possibles des capteurs et de la source [4]:

$$F_n(\Delta r, \omega) = \frac{\langle S_{12}(\Delta r, \omega) \rangle}{\sqrt{\langle S_{11}(\omega) \rangle \langle S_{22}(\omega) \rangle}} = \text{sinc}(k \Delta r) \quad (1.5)$$

avec : $S_{ij} = P_i(r,f) P_j^+(r,f)$
 k : nombre d'onde
 Δr : distance entre capteurs

Le terme général de la matrice de cohérence spatiale du bruit de fond s'écrit alors:

$$J_{ij} = \text{sinc}(k\Delta r_{ij})$$

2. Présentation de l'instrumentation

Afin de réaliser les acquisitions et les traitements des données, nous avons développé une instrumentation portable. L'antenne comporte huit capteurs équidistants et appairés en phase. L'acquisition se fait en simultané sur tous les capteurs. Un amplificateur à gain programmable permet d'optimiser la dynamique des signaux dans une plage de 60 dB à 120 dB (Figure 1). La fréquence d'échantillonnage est programmable et prévue pour travailler jusqu'à l'octave 8 kHz. L'utilisateur choisit le nombre d'échantillon et le nombre d'acquisition. La chaîne d'acquisition est implantée dans un système informatique piloté par un microprocesseur MC68000 [5].

Figure 1.

Au cours d'une manipulation de validation, nous avons vérifié que le déphasage introduit par la chaîne d'acquisition était négligeable, et de façon à obtenir la même sensibilité sur tous les capteurs, des coefficients de correction ont été introduit.

3. Manipulation

Les premières expérimentations en chambre anéchoïque ont permis de valider l'instrumentation et le modèle de propagation en onde sphérique. Nous testâmes par la suite le comportement de l'algorithme MUSIC (avec et sans blanchiment) en le comparant au traitement d'antenne adaptatif de Capon [2], en présence d'un champ acoustique réverbéré, dans une salle aux parois non homogènes et ayant un temps de réverbération de 0,6 s. Dans ces conditions, nous avons observé la présence d'une source image corrélée à la source à identifier. Nous n'avons pu déterminer directement le paramètre distance au moyen du modèle de propagation en onde sphérique. Une double localisation en gisement avec un modèle de propagation en onde plane, donne accès à la distance par triangulation. Nous présentons figure 2, les résultats obtenus en calculant la valeur moyenne des paramètres sur une bande de tiers d'octave, ce qui représente une estimation en large bande. Après avoir localisé la source, nous effectuons sa caractérisation en puissance à partir de l'équation (1.2). Les niveaux de pression mesurés au sonomètre étaient de 78 dB sur les tiers d'octave 500, 625 et 800 Hz. Le tableau 1 ci-dessous nous donne la valeur estimée et l'écart-type du niveau de pression émis par la source par bande de tiers d'octave.

Tiers d'octave	500 Hz	625 Hz	800 Hz
CAPON (dB)	$\hat{L}_c = 73,3 \quad \delta = 1,9$	$\hat{L}_c = 81 \quad \delta = 3$	$\hat{L}_c = 83,1 \quad \delta = 2,7$
MUSIC (dB)	$\hat{L}_M = 83,1 \quad \delta = 3,6$	$\hat{L}_M = 90,5 \quad \delta = 4$	$\hat{L}_M = 88,7 \quad \delta = 2,9$
MUSIC blanc	$\hat{L}_{Mb} = 96,3 \quad \delta = 4,7$	$\hat{L}_{Mb} = 93,2 \quad \delta = 4,5$	$\hat{L}_{Mb} = 90,6 \quad \delta = 4$

Tableau. 1

Figure 2 : surfaces de localisation issues des différents traitements

Pour l'algorithme MUSIC, la correction de la matrice des densités spectrales par blanchiment améliore la localisation en réduisant les surfaces de localisation par rapport à celles obtenues sans correction. Cependant, cette amélioration ne rend pas l'algorithme MUSIC plus performant que l'estimateur de puissance de Capon puisque pour les deux traitements d'antenne, la source réelle ne se trouve dans aucune des surfaces de localisation. Pour l'estimation de la puissance des signaux, nous avons constaté un bon comportement du traitement adaptatif en dehors des basses fréquences. En présence d'une source corrélée, l'algorithme MUSIC surestime la puissance du signal émis par la source réelle.

4. Conclusions

En conclusion, les méthodes à haute résolution qui demandent des hypothèses contraignantes, sont d'un apport intéressant pour le problème de caractérisation de bruiteurs acoustiques. La présence d'un champ réverbéré diminue leurs performances mais cette dégradation peut être compensée lorsque l'on connaît la matrice des densités spectrales du bruit de fond associé à ce champ et que l'on la méthode du blanchiment.

5. Références bibliographiques

- [1]- R.O. Schmidt : "Multiple emitter location and signal parameter estimation"
IEEE Trans on ant. and prop., vol. AP 34, n° 3, pp. 276-280, March 1986
- [2]- J. Capon : "High resolution frequency wavenumber spectrum analysis"
Proc IEEE, vol 57, n°8, Aug 1969 pp 1408-1418
- [3]- J.M Passerieux, L. Kopp : "Detection par valeurs propres: performances théoriques et essais sur signaux réels". Dixième colloque sur le traitement du signal et ses applications. Nice, 20 - 24 mai 1985.
- [4]- F. Schmitt : "Localisation de sources de bruit industrielles par des méthodes d'antennerie acoustique". Thèse de l'université Paul Sabatier. Toulouse 1993
- [5]- E. Gonneau : "Application des méthodes à haute résolution à la localisation des sources de bruit industriel. Etude et développement d'une instrumentation portable". Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse 1993