

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF RLMS TIME ALGORITHMS
FOR USE IN ADAPTIVE ACTIVE NOISE CONTROL

G. BILLOUD, M.A. GALLAND, M. SUNYACH

Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique
URA 263 du CNRS
Ecole Centrale de Lyon, BP 163, 69131 ECULLY CEDEX, France

RESUME

On envisage dans cette étude la conception et la mise en oeuvre de stratégies temporelles d'autoadaptation du filtre digital qui pilote la source de contre-bruit dans une installation d'absorption acoustique active à un paramètre. Lorsque le détecteur du bruit à éliminer est insensible au contre-bruit, on montre qu'un filtre à réponse impulsionnelle finie adapté par un algorithme de type LMS permet d'atténuer un bruit large bande de 20 dB dans la gamme étudiée. Lorsqu'en revanche le contrebruit perturbe le détecteur, il y a risque de bouclage instable. On montre alors que l'utilisation d'un filtre récursif avec un algorithme RLMS permet d'obtenir les mêmes performances que précédemment et ce en contrôlant efficacement le bouclage acoustique contre-bruit/détecteur. Ces méthodes présentent de plus l'intérêt de pouvoir être étendues à des systèmes à plusieurs paramètres.

SUMMARY

This paper is concerned with the use of time algorithms for the adaptive digital controller needed in a single parameter active noise control (ANC) system. Considering the case of a system without feedback from the cancelling source to the noise detector, we show that a FIR filter implemented with a LMS algorithm in a home made digital controller reduces broadband noise by around 20 dB in the range studied. On the other hand, when feedback occurs between the cancelling source and the detector, there is a risk of instability. We show that an adaptive recursive filter with a RLMS algorithm can manage with this stability problem. Indeed, it achieves experimentally the same kind of attenuation simultaneously with a stable control of the feedback process. We are finally confident that these algorithms should provide interesting results in the case of multi-parameters ANC.



INTRODUCTION

L'absorption acoustique active (AAA) à un paramètre, qui tend à la minimisation de la pression acoustique en un point de contrôle au moyen d'une source de contre-bruit (ou contre-source) peut être réalisée par différentes méthodes. Dans le cas de bruit à large bande, la plus couramment étudiée consiste à transformer le signal d'une mesure du bruit à éliminer en un signal destiné au pilotage de la contre-source.

L'efficacité du contrôle actif dans ce cas repose donc entièrement sur le système de traitement du signal utilisé pour cette transformation "détection-réaction": le contrôleur. L'expérience a montré [1] que seuls des contrôleurs numériques sont adaptés à cette situation, étant donnée en particulier leur grande souplesse d'utilisation. La mise en oeuvre du contrôle actif nécessite alors principalement la mise au point d'appareils performants de traitement numérique du signal et le développement de méthodes adaptatives pour déterminer automatiquement et réactualiser les paramètres du contrôleur. Jusqu'à ces dernières années, la plupart des méthodes proposées était du type fréquentiel, [1], [2]. Nous étudions ici des méthodes temporelles, qui réactualisent directement les coefficients du contrôleur. Ces méthodes présentent l'avantage d'être beaucoup plus rapides et on montrera surtout qu'elles constituent la seule façon raisonnable d'opérer lorsque la mesure du bruit est sensible aux ondes émises par la contre-source. Ainsi, nous envisageons deux approches temporelles différentes suivant qu'il y a ou non couplage (ou rétroaction) de la contre-source sur le détecteur.

AAA SANS RETROACTION

Technique de contrôle

La schématisation fonctionnelle du système expérimental (Fig. 1) permet de bien comprendre le rôle du contrôleur. Ce dernier doit déterminer un modèle numérique temps réel du "transfert physique" entre le détecteur et le point de contrôle tout en tenant compte de la réponse propre de la contre-source. Dans cette situation, il est aisé de justifier le choix d'une technique de filtrage FIR (réponse impulsionnelle finie) pour la mise en oeuvre du contrôleur [3].

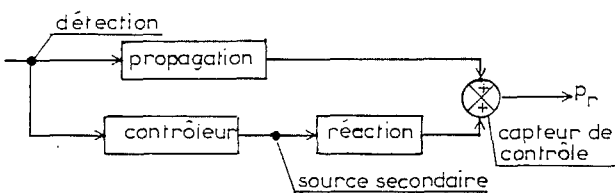


Fig. 1 : Schématisation du système

Algorithme temporel d'adaptation

Pour définir l'algorithme temporel, on considère que le contrôleur est adapté dans le but de minimiser l'énergie de la pression acoustique résiduelle résultant de l'interférence bruit/contre-bruit au niveau du capteur de contrôle.

Si la contre-source avait une réponse unitaire, on pourrait alors appliquer directement l'algorithme LMS proposé par WIDROW [4]. La réponse de la contre-source n'est cependant pas aussi simple et on montre [3] qu'il faut alors ajouter dans l'algorithme un modèle de cette réponse, B (voir Fig. 2), et l'équation à utiliser est alors

$$(1) \quad A^{(n+1)} = A^{(n)} + 2 \mu \varepsilon_n U_n$$

$$(2) \quad U_n = (u_n, u_{n-1}, \dots, u_{n-N}) \text{ et } u_n = B X_n$$

où $A^{(n)}$ est le vecteur des coefficients du filtre FIR à l'instant n , X_n le vecteur des échantillons d'entrée du filtre à l'instant n et B le vecteur des coefficients du modèle de la source secondaire.

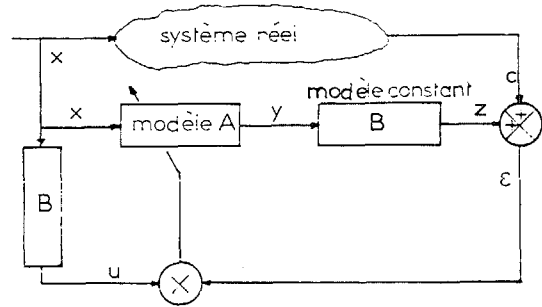


Fig. 2 : Principe de l'algorithme

Application au banc d'essais

Pour mettre en oeuvre en temps réel l'algorithme écrit plus haut, nous avons réalisé un filtre digital programmable utilisant un processeur de type DSP, l'ADSP 2100 d'Analog Devices. Cet appareil est conçu comme une carte d'extension pour micro-ordinateur compatible PC-XT ou AT, ce qui le rend très souple d'utilisation et de mise au point. Il est capable de traiter jusqu'à 8 voies d'entrée et de sortie de façon indépendante à la vitesse d'échantillonnage maximum de 150 kHz.

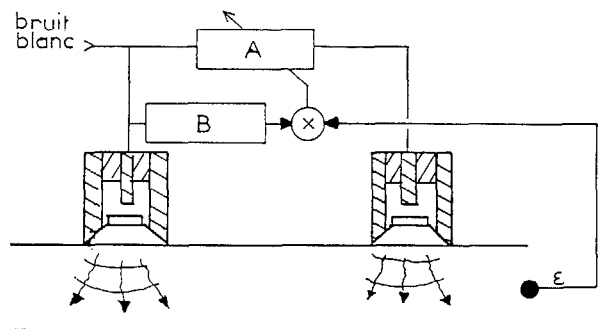


Fig. 3 : Application expérimentale de l'algorithme LMS

L'algorithme proposé est alors programmé dans la mémoire de ce processeur et appliqué au système expérimental comme l'indique la figure 3. Il fournit ainsi, avec une connaissance initiale de l'installation acoustique réduite au seul modèle B de la réponse de la contre-source, et avec des coefficients de départ nuls ($A^{(0)}=0$), une atténuation de bruits aléatoires s'élevant à 20 dB dans la gamme $|0,900 \text{ Hz}|$ (Fig. 4).

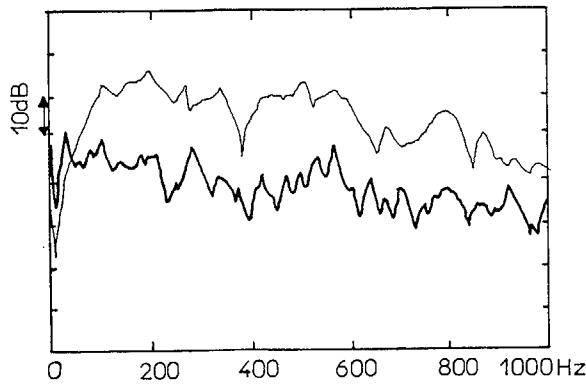


Fig. 4 : Spectres de bruit :
Système à l'arrêt (—) ; en marche (---)

La convergence est obtenue en 200 itérations environ, ce qui est très rapide dans la mesure où la réactualisation (1) est effectuée à la fréquence d'échantillonnage du système (dans ce cas 4 kHz).

AAA AVEC RETROACTION

La présence de rétroaction contre-source/détecteur dans un système de contrôle actif est particulièrement gênante. Elle engendre en effet une boucle électroacoustique fermée qui peut devenir instable. Dans le cas de conduits semi-infinis, l'utilisation de détecteurs directionnels permet de limiter cette rétroaction. Cependant, la détection directionnelle ne peut être étendue à des cas plus complexes (champs tridimensionnels ou modes supérieurs au mode plan dans un conduit). Il est donc souhaitable de traiter le problème avec un capteur omnidirectionnel.

Type de contrôleur

Le contrôleur doit, en plus du rôle défini précédemment, supprimer dans le signal du détecteur la contribution de la contre-source, c'est à dire réaliser un modèle du chemin acoustique contre-source/détecteur qu'est la rétroaction. Le contrôleur synthétise donc un filtre numérique récursif (IIR), puisqu'il est le "modèle" numérique du bouclage de deux chemins acoustiques antagonistes (Fig. 5) :
i) La propagation du bruit à éliminer,
ii) Le retour des ondes de contre-bruit.

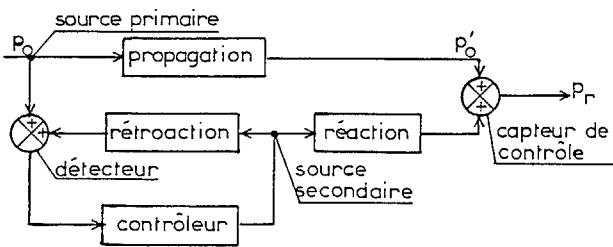


Fig. 5 : Schématisation du système

Algorithme temporel d'adaptation (RLMS)

L'algorithme permettant l'adaptation des coefficients du contrôleur dans ce cas est le pendant de l'algorithme LMS présenté plus haut pour les filtres récursifs. Cet algorithme (RLMS) a été proposé par FEINTUCH [6]. Bien que sa validité théorique soit contestable [3], [6], on verra a posteriori qu'il permet d'obtenir de bons résultats.

Prenons le cas où la réponse de la contre-source peut être modélisée par un filtre transversal (vecteur

de coefficients D). Si le filtre a pour équation d'entrée/sortie :

$$y_n = {}^t A^{(n)} X_n - {}^t B^{(n)} Y_n$$

l'algorithme s'écrit

$$A^{(n+1)} = A^{(n)} + 2 \mu \varepsilon_n U_n$$

$${}^t U_n = (u_n, u_{n-1}, \dots, u_{n-N}) \text{ et } u_n = {}^t D X_n$$

$$\text{et } B^{(n+1)} = B^{(n)} + 2 \mu \varepsilon_n V_n$$

$${}^t V_n = (v_n, v_{n-1}, \dots, v_{n-N}) \text{ et } v_n = {}^t D Y_n$$

On doit noter qu'une méthode fréquentielle (réactualisation de la fonction de transfert du contrôleur) serait difficilement utilisable dans ce cas. En effet, le calcul des coefficients d'un filtre récursif à partir d'une fonction de transfert imposée (en module et en phase) reste un problème très délicat et des méthodes d'approximation donnent en général des résultats trop imprécis pour être utilisables dans un problème d'AAA de ce type.

Application expérimentale

La méthode RLMS étant programmée dans le contrôleur réalisé au laboratoire, on effectue l'essai dans les mêmes conditions que précédemment, à savoir $A^{(0)} = B^{(0)} = 0$, D étant prédéterminé (Fig. 6). La convergence vers l'atténuation optimale est alors moins rapide (800 itérations contre 200 précédemment). L'atténuation réalisée par ce système reste cependant d'un bon niveau (voisine de 20 dB entre 100 et 700 Hz) (Fig. 7). Ce résultat est très satisfaisant, surtout si l'on considère que le système assure simultanément le contrôle du bouclage acoustique qui au départ est totalement inconnu. Des résultats similaires ont par ailleurs été obtenus par des auteurs étrangers [7].

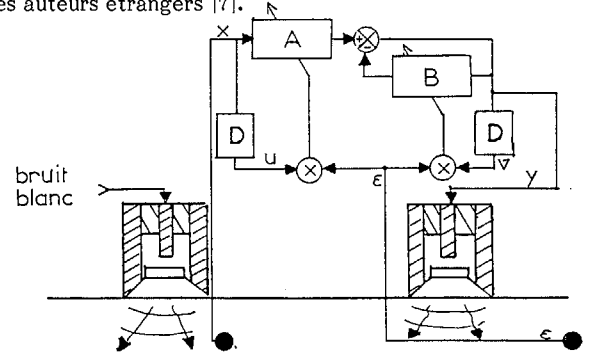


Fig. 6 : Application expérimentale de l'algorithme RLMS

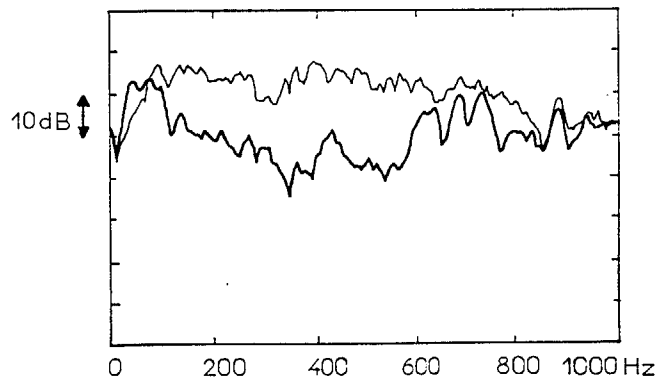


Fig. 7 : Spectres de bruit.
Système à l'arrêt (—) ; en marche (---)



CONCLUSION

Nous avons montré dans cette étude le principe et l'application expérimentale d'algorithmes temporels pour l'autoadaptation du contrôleur numérique dans une installation d'AAA à un paramètre. Nous avons ainsi pu mettre en évidence des atténuations de l'ordre de 20 dB pour un bruit à large bande dans la gamme étudiée. Ces résultats restent valables même lorsqu'il y a rétroaction de la contre-source sur le détecteur, où les méthodes fréquentielles classiques sont très difficilement utilisables.

La simplicité de la programmation et du matériel nécessaires à la mise en oeuvre de ces méthodes les indiquent tout particulièrement pour des applications à caractère industriel.

Nous avons également développé au cours de cette étude un matériel performant de traitement numérique du signal. Il a été produit en petite série et est d'ores et déjà utilisé par d'autres laboratoires pour différentes applications spécifiques du contrôle actif.

L'ensemble des méthodes algorithmiques présentées ici pourra à l'avenir être appliqué au contrôle actif à plusieurs paramètres et de premières expériences actuellement en cours au laboratoire sont à ce titre encourageantes.

REFERENCES

- [1] C.F. ROSS,
"Application of digital filtering to active control of sound", *Acoustica*, Vol. 51, pp. 135-140, 1982.
- [2] A. ROURE,
"Self Adaptive broadband active sound control system", *JSV* 101 (3), pp. 429-441, 1985.
- [3] G. BILLOUD,
"Développement d'un filtre numérique adaptatif contrôlant les phénomènes de bouclage. Application à l'absorption acoustique active", Thèse n° 18288, Université Claude Bernard LYON I, décembre 1988.
- [4] B. WIDROW,
"Adaptive Filters", *Aspects of network and systems theory*, R.E. Kalman and N. DeClaris Eds, New York : Holt, Rine Hart and Winston, 1970.
- [5] P.L. FEINTUCH,
"An adaptive recursive filter", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 64, pp. 1622-1624, nov. 1976.
- [6] B. WIDROW, J. McCOOL,
"Comments on "An adaptive recursive filter", *Proceedings of the IEEE*, vol. 65, n° 9, pp. 1402-1404, sept. 1977.
- [7] L.J. ERIKSSON, M.C. ALLIE et al.,
"The use of active noise control for industrial fan noise", *ASME Annual Meeting*, Chicago, Illinois, December 1988.