



APPLICATION DU RECUIT SIMULE A LA SOUSTRACTION DE BRUITEUR FORT SUR UNE ANTENNE

Benoit Rafine*, Paul Bertrand**

*Département LSM Le Brus, France

** Imagine Technologies 83190 Ollioules, France

RÉSUMÉ

ABSTRACT

L'utilisation d'antennes linéaires remorquées par des bâtiments de surface pose le problème de la gêne due au bruit du porteur. La proximité nécessaire de l'antenne entraîne une incapacité d'écoute dans la direction du porteur, les directions voisines et souvent dans celles des lobes secondaires. Nous proposons une approche originale et peu coûteuse en calcul pour trouver une apodisation de l'antenne permettant une réjection des directions les plus gênantes. Cette apodisation est obtenue par minimisation d'une fonction de coût en utilisant une technique de recuit simulé. L'intérêt de la méthode, par rapport aux techniques optimales, est qu'elle n'utilise pas de modèle à priori et n'est pas paramétrique. Les résultats obtenus par simulation et sur signaux réels ont montré la validité des approches.

Platform noise is one of the main problem for towed arrays that leads to a real disturbance in its direction but also in its secondary lobes. We propose an original low computer cost solution to cancel these annoying directions.

This cancellation is obtained by the optimization of a gain and weighting set through an minimization of a cost function. This minimization is done by simulated annealing. The main interest of this method is that it does not require any a priori modelisation. The numerical simulations that have been carried out and it's good response to real measurements prove the validity of this method

1. INTRODUCTION

L'objectif de l'étude présentée dans cet article est de diminuer de manière conséquente le bruit du porteur ou d'une autre source importante sans altérer les performances dans les autres directions. La technique proposée consiste à trouver une fonction complexe de pondération spatiale qui minimise une fonction de coût choisie la plus simple possible. La technique d'optimisation retenue, le recuit simulé, est adaptée à l'ordre du vecteur à optimiser (2 fois le nombre de capteurs de l'antenne). Après une description de cette technique, une présentation de la mise en œuvre pratique est faite, justifiant les différents choix retenus. Des résultats sont présentés qui montrent la validité de ces choix et l'efficacité de la méthode. Enfin, une réflexion sur l'architecture d'implantation dans un système sonar est proposée.

2. DESCRIPTION DE L'ALGORITHME

Nous nous contenterons ici de décrire le recuit simulé sans en démontrer les principes. Le lecteur souhaitant plus d'informations sur les bases mathématiques sous-jacentes pourra utilement se reporter à la référence [2].

2.1 Définitions

Soit : $F(h_i)$ une fonctionnelle de C^N dans R ,

h_i un vecteur de C^N représentant les paramètres que

l'on cherche à optimiser,

T_0 un nombre réel non nul dit température initiale,

K un nombre réel de dimensionnement

$T_{i+1} = V(T_i)$ où V est une fonction décroissante,

$h_{i+1} = G(h_i)$ où G est une loi de variation du vecteur de paramètres h_i ,

$\text{aleat}(a,b)$ est un nombre aléatoire compris entre a et b
 i représente l'indice d'itération de l'algorithme.

Le choix des fonctions V et G , s'il est libre, n'est assurément pas sans influence sur la qualité des résultats. Un choix classique pour $V(T_i)$ consiste à prendre $T_{i+1} = T_i / i$ c'est celui qui a été utilisé dans les exemples présentés ci-après. Le choix de G est en revanche plus complexe; il peut utiliser des variables aléatoires, être fonction de l'indice d'itération, ou même reposer sur un deuxième processus de recuit simulé.

La fonctionnelle $F(h_i)$ est la fonction de coût que l'on cherche à minimiser. Elle peut être de tout type, en particulier il n'est pas nécessaire de la connaître partout; il suffit de pouvoir calculer sa valeur pour les différents jeux de paramètres. Néanmoins son calcul doit être le plus simple possible puisqu'il devra être effectué un grand nombre de fois.



Un test d'arrêt doit être choisi, cela peut être soit une valeur limite dans l'indice i , ou dans la fonction de coût ou dans ces variations. Dans les exemples présentés ci-après un simple seuil S sur la fonction de coût détermine l'arrêt du processus.

2.2 algorithme

2.2.a Description des étapes

- **Etape 0** Une température initiale T_0 est fixée.
- **Etape 1** un premier vecteur de paramètres h_0 est choisi. Cela peut être une valeur au hasard ou bien le vecteur nul par exemple.
- **Etape 2** $i = 0$, la fonction $F(h_0)$ est calculée.
- **Etape 3** début de la boucle de calcul
 - on calcule T_{i+1}, h_{i+1} et $F(h_{i+1})$;
 - on forme $\Delta F = F(h_{i+1}) - F(h_i)$
 - si $\Delta F < 0$ alors la perturbation est acceptée
 - si $\Delta F \geq 0$ deux cas sont à envisager :
 - si $\exp(-\Delta F / KT_{i+1}) < \text{aleat}(0,1)$, la perturbation est acceptée. Cette condition permet de sortir des minima locaux.
 - si $\exp(-\Delta F / KT_{i+1}) \geq \text{aleat}(0,1)$, la perturbation est refusée $h_{i+1} = h_i$.
- **Etape 4** Calcul du test d'arrêt
 - si le test d'arrêt est faux alors retour à l'étape 3
 - sinon fin de la boucle de calcul

2.2.b Remarque

En pratique cet algorithme est de durée finie, et donc contrairement à la théorie markovienne du recuit simulé [2], qui assure une convergence asymptotique, on n'a pas ici la garantie de trouver le minimum absolu. Néanmoins un choix judicieux de la condition d'arrêt, de la fonction G ainsi que de la décroissance lente de la température augmente la probabilité d'obtenir une solution proche du minimum absolu. Comme dans toute méthode d'approximation successive un compromis doit être trouvé entre le temps de calcul et l'efficacité.

3 APPLICATION A LA SOUSTRACTION DE BRUITEUR FORT EN TRAITEMENT D'ANTENNE

La fonction de coût choisie minimise l'énergie dans la direction à éliminer tout en maintenant la différence d'énergie avant et après pondération dans toute les directions à conserver. On peut formellement faire l'analogie avec un filtre réjecteur dont on calcule les coefficients par une contrainte énergétique. L'initialisation de l'algorithme de recuit simulé se fait de la manière suivante:

On définit tout d'abord la fonction d'énergie reçue par l'antenne dans la direction Θ :

$$E_0(\Theta) = |P^+ U(\Theta)|^2 = |P^+ I U(\Theta)|^2 = |P^+ H_0 U(\Theta)|^2$$

où P est le vecteur pression, U le vecteur direction, $H_0 = I$ la matrice identité représentant une pondération uniforme.

A l'itération i , la matrice complexe diagonale H_i de pondération permet de calculer la fonction de coût à minimiser:

$$F_i = \sum_{j \neq q} |E_0(\Theta_j) - E_i(\Theta_j)| + E_i(\Theta_q)$$

où q est l'indice de la voie dans laquelle se fait la réjection.

Cette formulation, qui suppose un traitement bande étroite de signaux déterministes, a fait l'objet, pour validation, des simulations présentées sur les figures 1 à 4.

Les composantes du vecteur de pondération complexe

représentent un terme de pondération multiplicatif réel et un terme de phase correspondant à un retard temporel additif:

$$e^{-2\pi j f \Delta t}$$

L'équivalence en temporel, pour une formation de voies par retard et somme, devient:

$$E_i(\Theta_j) = \sum_t (|\sum_i a_i P_i(t - i \partial \sin(\Theta_j)/c - \Delta t_i)|^2)$$

où ∂ est l'espacement entre les capteurs, c la vitesse du son et où le signe \sum_t représente la moyenne temporelle.

Le vecteur à optimiser se compose alors de n poids multiplicatifs pour l'amplitude et de n décalages temporels additifs. Cette formulation est extrêmement simple et ne fait aucune hypothèse a priori sur les signaux et leur nature statistique.

4 APPLICATION

4.1 Simulations numériques

L'antenne est linéaire, elle comporte 32 capteurs espacés de $\lambda/2$ où λ est la longueur d'onde des sources. La figure 1 montre la réponse classique de cette antenne dans le cas de deux sources d'égale amplitude émettant des ondes planes dans la direction 0° et 45° .

La figure 2 présente la formation de voies après application de l'apodisation optimale issue de l'algorithme précédent.

On constate que l'annulation est très efficace et que le niveau de la source à 0° est conservé. Le nombre d'itération i_{\max} est relativement faible, il correspond cependant à la faible valeur du seuil S demandé. Le temps nécessaire pour mener le calcul est très faible puisqu'il a été effectué en quelques dizaines de secondes sur un MAC II CI. Les valeurs k_0 et k_1 sont très différentes. k_1 fixe la probabilité de saut d'un minimum local à un autre même si l'énergie croît, alors que k_0 fixe l'aptitude de l'algorithme à passer d'un jeu de coefficients à un autre avec ou sans discontinuité. Le rapport entre k_1 et k_0 , obtenu après un certain nombre d'essais, ne semble pas, dans ce cas, être un paramètre très sensible. La température initiale, choisie ici à 20, est également un paramètre extrêmement peu sensible.

Le point important, pour bien comprendre la puissance de l'algorithme, est que l'annulation d'une direction est effectivement adaptative au sens où elle dépend du signal. Ce caractère adaptatif est cependant relatif puisqu'aucun modèle sous-jacent n'est donné et surtout qu'aucune autre hypothèse que la direction du bruitier à éliminer n'est fournie. Cette adaptation apparaît donc plus d'ordre géométrique que liée au signal.

Pour s'assurer du caractère géométrique de cette adaptation, l'antenne est choisie volontairement avec un pas intercapteur égal à $\lambda/1,5$. Dans ce cas, il est bien connu que des effets de repliement spatial se produisent.

La figure 3 présente la formation de voies classique dans ce cas.

La figure 4 présente la formation de voies après annulation de la direction 45° uniquement.

On constate que la source à éliminer a effectivement disparu, ainsi que le repliement associé, et le niveau de la source en 0° est effectivement conservé.

4.2 Application à des signaux réels

Les signaux proviennent d'un réseau d'hydrophone comportant 16 capteurs régulièrement espacés d'environ 11 cm.

La veille sonar classique figure 5 montre un bruitier très fort en déplacement. Il est très difficile de distinguer d'autres traces.



La version temporelle de l'algorithme présenté précédemment est appliquée à ces signaux.

Le jeu de gain et de retard optimum est calculé sur la première trame temporelle. La décision d'arrêter le traitement est manuelle et s'effectue quand on constate qu'il n'y a plus de variation notable des coefficients. Le jeu d'apodisation obtenu est alors appliqué aux 270 trames temporelles suivantes.

Sur la figure 6 qui présente ce résultat, la source principale que l'on cherchait à éliminer a effectivement disparu au profit d'autres traces. On confirme là encore le caractère géométrique de la méthode puisque l'élimination continue d'être efficace alors que le système évolue dans le temps et donc que les signaux sont différents.

Cette particularité rend ce type de traitement très attractif en environnement sonar. En effet l'apodisation obtenue à un instant t une fois introduite dans la chaîne sonar garde son caractère optimum tant que la situation spatiale des bruiteurs n'a pas changé. Cette longévité relative du jeu d'apodisation est importante puisqu'elle permet, sans charge particulière de calcul, de s'adapter à des situations ASM variables. Elle laisse ainsi le temps au calculateur de générer un nouveau jeu d'apodisation asservi, par exemple, sur la position estimée de la source à éliminer. Cette méthode permet de plus une écoute audio particulièrement efficace dans les directions que l'on a souhaité conserver.

5 CONCLUSION

La technique d'optimisation des traitements d'antenne par recuit simulé présentée dans cet article a montré une grande efficacité vis à vis de l'objectif fixé d'élimination de bruiteurs forts, tant en simulation que sur des mesures réelles.

La méthode présentée a l'avantage, contrairement à d'autres méthodes optimales, de n'imposer que des contraintes sans avoir à utiliser de modèle a priori. Cette absence d'information supplémentaire, par rapport au modèle intrinsèque utilisé pour la formation de voies, donne à cette technique une facilité de mise en œuvre et une robustesse sans égal.

De manière plus générale les algorithmes d'optimisation par recuit simulé sont des outils utilisables dans d'autres domaines que celui du traitement d'antenne. En particulier les problèmes de minimisation d'erreurs dans le cadre des mesures de trajectographie gagneraient certainement à être abordés sous l'angle du recuit simulé.

6 Références

- [1] S. Kirkpatrick, C.D. Gellat, M.P. Vecchi : Optimization by simulated annealing. Science 220 1983.
- [2] A. Dekkers and E. Aarts : Memorandum COSOP 88.21 Global optimisation and simulated annealing.
- [3] W.S. Burdic : Underwater acoustic system analysis. Prentice-Hall, Inc, 1984.
- [4] M. Bouvet : Traitement des signaux pour les systèmes sonar, Masson 1992.
- [5] O.L. Frost : An algorithm for linearly constrained adaptive array processing IEEE Proceedings Vol 60 N°8 1972.
- [6] N.K. Jablon : Adaptive beamforming with the generalized sidelobe canceler in the presence of array imperfections IEEE TAP Vol AP34 N°8 1986.
- [7] B. Rafine, P. Bertrand : Beamforming optimization by simulated annealing. UDT 1993.

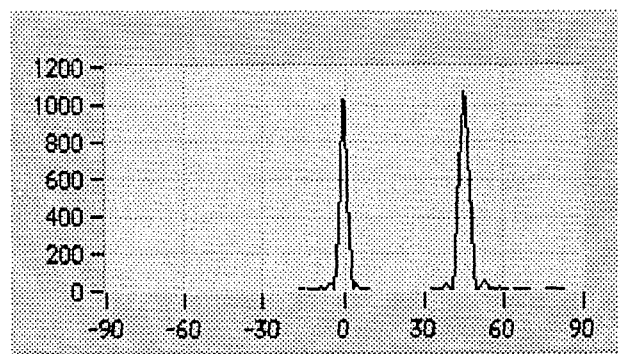


Figure 1 formation de voies classique. Deux sources d'égale amplitude à 0° et 45°

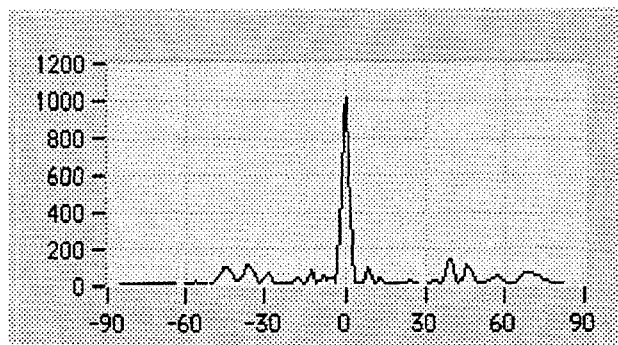


Figure 2. Elimination de la source à 45°. $T_0=20$, $I_{max}=232$, $S=0.1$, $k_0=0.01$, $k_1=3$

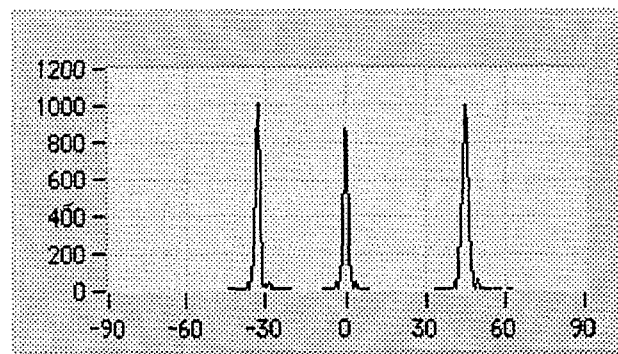


Figure 3 paramètres identiques à la figure 4 la source à 45° se replie spatialement à environ -30°

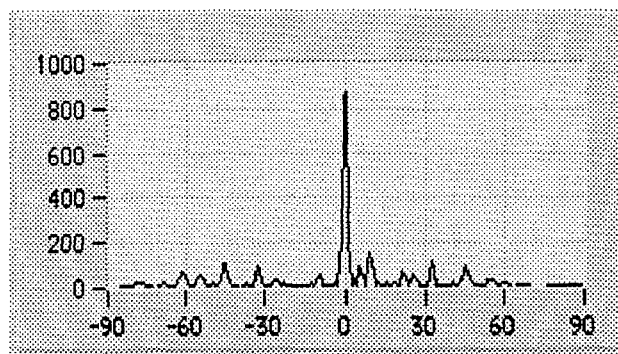


Figure 4 Annulation de la direction 45°

