

TRAITEMENT D'ANTENNE PAR SOUS-RESEAUX

Monsieur Michel COMBAUD

ONERA - 29 avenue de la Division Leclerc 92320 CHATILLON SOUS BAGNEUX

Cette communication présente une classe de traitements d'antenne dans laquelle une formation de voie auto-adaptative est faite à partir de sous-réseaux. On propose une méthode permettant, pour une antenne de géométrie fixée, de déterminer les configurations optimales des sous-réseaux. On montre sur un exemple que les performances d'une antenne à cinq sous-réseaux sont peu inférieures à celles de l'antenne entièrement adaptative, à trente coefficients, lors de l'élimination d'un seul brouilleur.

A class of partially adaptive arrays is presented, in which adaptive processing is applied to the outputs of steered subarrays. A method is described for determining the optimal subarray configuration of a given antenna. It is shown on an example using a thirty-element array that the performances of the partially adaptive processing with five subarrays are close to, yet lower than, those of the fully adaptive processing, when eliminating only one jammer.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de contre-contre-mesures applicables à des systèmes sonar ou radar, on cherche à éliminer l'effet de brouilleurs aveuglants, derrière lesquels une cible n'est plus visible. Lorsqu'on dispose d'une antenne-réseau, un traitement classique dans ce but consiste à commander chaque capteur du réseau en amplitude et phase, de manière telle que le diagramme de rayonnement de l'antenne présente un zéro dans les directions des brouilleurs. Les coefficients de pondération sont calculés de manière évolutive, à partir des signaux reçus par les capteurs qui contiennent implicitement des informations sur les positions des brouilleurs : l'antenne munie d'un tel système de traitement est appelée antenne auto-adaptative.

Lorsque le nombre d'éléments du réseau est important, le calcul des coefficients adaptatifs est long et son exécution en temps réel peut nécessiter un appareillage dont le coût ou l'encombrement sont prohibitifs. On est donc amené à définir des traitements d'antenne simplifiés, conduisant à une charge de calcul réduite.

Dans le cas où on ne cherche à éliminer qu'un très petit nombre de brouilleurs, on conçoit intuitivement qu'un faible nombre de degrés de liberté soit nécessaire à cette réjection. En conséquence, les traitements d'antenne ayant un nombre de coefficients auto-adaptatifs réduit sont, à priori, bien adaptés à l'élimination d'un seul brouilleur.

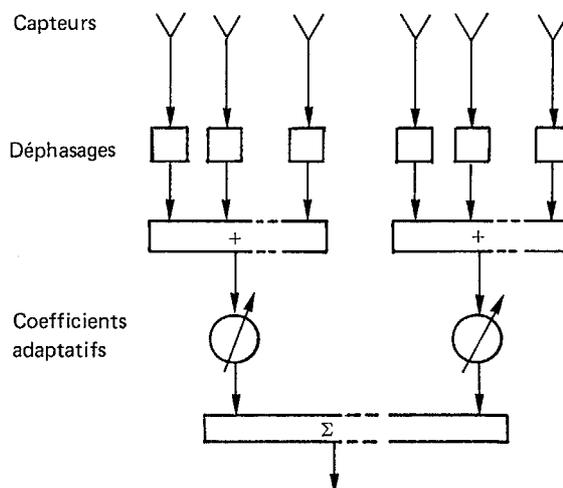


Fig. 1 – Antenne auto-adaptative à groupements de capteurs.

2. PRINCIPE

C'est à la définition d'un traitement de ce type, dans le cas de la lutte contre un brouilleur unique, que cet article est consacré. Le principe consiste dans le regroupement des capteurs en sous-réseaux, sur lesquels on fait une formation de voie, et dans l'application de l'algorithme classique de réjection auto-adaptative du brouilleur aux sorties des sous-réseaux (voies formées, directives) comme on le montre sur la figure 1. Le nombre de coefficients adaptatifs est donc égal à celui des sous-réseaux et non au nombre total d'éléments. Le traitement complet, basé sur le principe qui vient d'être exposé, d'une antenne



donnée est entièrement défini dès que l'on a décrit la configuration globale des sous-réseaux : nombre de ces derniers, forme et position de chacun d'eux.

On décrit dans cet article une méthode permettant de déterminer la configuration optimale des sous-réseaux pour une antenne dont la géométrie est fixée. La configuration est optimale par rapport à un critère de performances que l'on doit préciser d'abord.

3. CRITERE DE CHOIX D'UNE CONFIGURATION DE SOUS-RESEAUX

L'antenne auto-adaptative étant destinée à maintenir visible l'écho d'une cible malgré la présence de brouilleurs, on utilise comme critère une grandeur significative des possibilités de détection : on propose le rapport signal à bruit (RSB), le bruit étant entendu comme la superposition du bruit ambiant et des signaux issus des brouilleurs, en sortie du traitement auto-adaptatif.

De plus, on cherchera la configuration optimale dans un cas particulier du champ de brouillage : présence d'un seul brouilleur actif, angulairement proche de la cible. Ce cas est rencontré en début de service du brouilleur, lorsque ce dernier est éjecté par la cible.

4. COMPROMIS PERFORMANCES - COMPLEXITE

Il est intuitif que les performances de l'antenne auto-adaptative s'améliorent si le nombre de degrés de liberté augmente, c'est-à-dire si le nombre de sous-réseaux croît, ceci quel que soit le critère qui est utilisé pour les mesurer : le meilleur traitement est effectivement le traitement auto-adaptatif classique. En conséquence, le critère de performances ne peut pas s'appliquer de manière absolue, mais relative : il permet de déterminer la meilleure configuration des groupements de capteurs, lorsque le nombre de ces derniers est fixé.

Pour chaque valeur du nombre de sous-réseaux, de 2 à N, nombre total d'éléments de l'antenne, il existe une configuration optimale et les performances de la meilleure antenne à M sous-réseaux sont supérieures à celles de son homologue à (M - 1) groupements de capteurs.

Lorsque ces configurations optimales sont établies, on doit déterminer la meilleure parmi elles non plus par un critère absolu, mais par un compromis entre leurs performances, qui diminuent si le nombre de sous-réseaux en fait autant, et la simplicité du calcul, qui est plus grande à nombre de degrés de liberté plus petit.

Ce compromis ne peut être établi que si le calcul des coefficients pour chaque nombre de degrés de liberté est entièrement explicite : algorithme utilisé, précision nécessaire, etc... La définition

des moyens électroniques de calcul dépasse largement le cadre de cet article. C'est pourquoi on ne cherchera pas à mettre en évidence la configuration globalement optimale.

Tout au plus, propose-t-on la méthode permettant de déterminer la meilleure configuration de sous-réseaux, pour une valeur fixée de leur nombre, et fournissant une valeur chiffrée de ses performances, par le RSB.

5. CHOIX DES SOUS-RESEAUX

En présence d'une cible de puissance P_s par capteur, d'un bruit ambiant de puissance T^2 et d'un brouilleur de forte puissance, le RSB en sortie d'une antenne entièrement adaptative à N capteurs est :

$$RSB = N \frac{P_s}{\sigma^2} (1 - |p|^2)$$

si p est la valeur normalisée du diagramme de rayonnement du réseau non-adaptatif dans la direction du brouilleur, tandis que le RSB en sortie d'une antenne à groupements de capteurs est :

$$RSB = N \frac{P_s}{\sigma^2} \frac{|p|^2_{\text{moyen}} - |p|^2}{|p|^2_{\text{moyen}}}$$

si $|p|^2_{\text{moyen}}$ est le gain en puissance normalisé moyen des sous-réseaux dans la direction du brouilleur.

En comparant les expressions (1) et (2), on constate que, en ce qui concerne le RSB, l'utilisation des groupements de capteurs se traduit par le remplacement de la valeur 1 par $|p|^2_{\text{moyen}}$ dans l'expression (2). Donc, si l'on veut obtenir le meilleur RSB avec une antenne utilisant M sous-réserve, on doit chercher la configuration de M groupements qui donne un $|p|^2_{\text{moyen}}$ le plus proche de 1 possible.

Lorsque le brouilleur se trouve dans une direction proche de celle de la cible, cette condition est vérifiée si le lobe principal (moyen) des sous-réseaux est large, c'est-à-dire, dans le cas d'une antenne plane et régulière, si l'on réalise des groupements compacts de capteurs contigus.

De plus, il faut éviter les configurations dans lesquelles un sous-réseau présente un nombre de capteurs bien plus important que les autres. En effet, ce sous-réseau est nécessairement de grandes dimensions, donc présente un lobe principal étroit, qui est prépondérant dans le gain moyen de sous-réseaux. Pour éviter un tel groupement, on retiendra les configurations dans lesquelles les sous-réseaux ont à peu près tous le même nombre de capteurs.

On constate donc que le critère du meilleur RSB en présence d'un brouilleur proche de la cible se traduit par un choix effectué à l'aide de considérations géométriques : sous-réseaux formés de

capteurs contigus et en ayant tous le même nombre.

Cependant, ce critère géométrique est insuffisant pour déterminer la configuration optimale à M groupements de capteurs puisque, pour chaque valeur de M, il y a plusieurs configurations qui le vérifient. Par exemple, on trouve environ une dizaine de configurations pour une antenne régulière à trente capteurs. Pour trouver la meilleure configuration, il est alors nécessaire de réaliser une étude numérique du RSB, pour chacune des configurations qui vérifient le critère géométrique. On compare alors les valeurs du RSB qui fournissent les différentes configurations, et on choisit le système qui donne la meilleure valeur, en moyenne sur la position du brouilleur à l'intérieur du lobe principal de l'antenne.

La méthode de choix des configurations optimales, à nombre de sous-réseaux fixé, qui vient d'être décrite a été appliquée à une antenne plane de forme rectangulaire, comportant trente capteurs, qui est présentée sur la figure 2. Les configurations retenues, respectivement à huit et cinq sous-réseaux, sont présentées sur les figures 3 et 4.

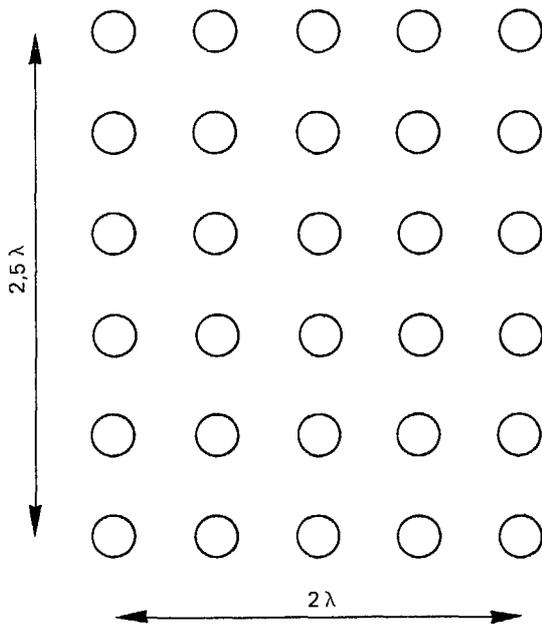


Fig. 2 – Antenne plane à trente capteurs.

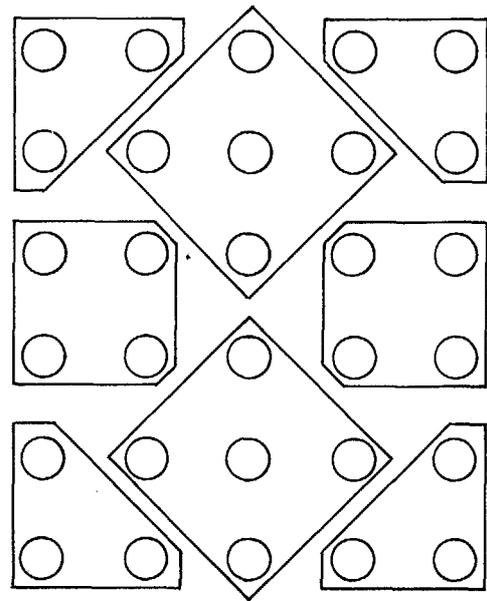


Fig. 3 – Sous-réseaux pour un traitement à huit coefficients adaptatifs.

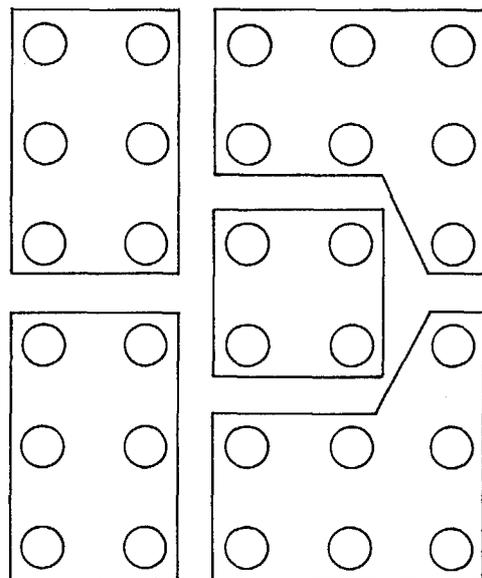


Fig. 4 – Sous-réseaux pour un traitement à cinq coefficients adaptatifs.



6. PERFORMANCES DES ANTENNES A SOUS-RESEAUX

Les configurations optimales étant définies pour chaque valeur du nombre de sous-réseaux, il est important de savoir dans quelle mesure les performances des antennes faisant appel à ces configurations sont dégradées par rapport à celles de l'antenne entièrement adaptative. Ces performances étant mesurées par le RSB, on détermine la dégradation maximale en comparant le RSB de l'antenne à sous-réseaux, tel qu'on vient de le calculer, au RSB de l'antenne entièrement adaptative.

$$\frac{\text{Le quotient RSB (antenne à M sous-réseaux)}}{\text{RSB (antenne entièrement adaptative)}}$$

présente un minimum, en fonction de la direction du brouilleur, sur le lobe principal de l'antenne-réseau. Ce minimum diminue avec le nombre de groupements de capteurs et dépend du nombre total d'éléments de l'antenne et de la forme de cette dernière.

Pour les configurations décrites sur les figures 3 et 4, ce minimum est égal respectivement à - 0,7 dB (traitement à huit sous-réseaux) et à - 1,3 dB

(traitement à cinq sous-réseaux) : les traitements faisant appel à cinq sous-réseaux, ou plus, présentent, avec l'antenne à trente capteurs qui a été prise comme exemple, une perte de RSB par rapport au traitement classique qui est inférieure à 1,3 dB.

7. CONCLUSION

Le traitement auto-adaptatif par sous-réseaux permet une diminution notable du volume de calcul tout en maintenant le RSB en présence d'un seul brouilleur à une valeur appréciable, tant que le nombre de coefficients adaptatifs reste supérieur à une limite, qu'on fixe par la dégradation du RSB qu'on tolère. Le choix d'une configuration optimale de sous-réseaux, lorsque leur nombre est fixé, est facilité lorsque l'antenne est plane et régulière, dans la mesure où il se fait d'abord par un critère géométrique simple.

Les traitements mettant en oeuvre cinq ou six groupements de capteurs sont, pour l'antenne prise comme exemple, un bon compromis entre les performances et la diminution de la charge de calcul.