

COMPARAISON DE DEUX MÉTHODES DE SYNTHÈSE DE DIAGRAMMES D'ANTENNES POUR LES RÉSEAUX CONFORMÉS.

FLEURIAULT J.M, GONNET P, FUCHS J.J., TERRET C.

Laboratoire "Structures rayonnantes" et IRISA. Campus de Beaulieu. 35042 RENNES Cedex.

1 : Introduction

La synthèse de diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes n'est pas un problème nouveau puisque des méthodes analytiques ont été découvertes dès 1950 (par exemple [1]). Ces méthodes ne sont applicables qu'à un réseau plan d'antennes et beaucoup d'autres sont apparues depuis pour résoudre ce type de problème. Ce n'est que depuis peu qu'on s'intéresse aux réseaux conformés à des surfaces telles que des cylindres, cônes, ou autres types de surfaces simples mais non-planes. En général, les méthodes de synthèse valables pour le réseau plan ne peuvent pas être modifiées pour s'adapter au réseau conforme. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de comparer, sur un exemple, deux méthodes relativement nouvelles de synthèse applicables aux réseaux quelconques d'antennes : la méthode des projections et la méthode variationnelle.

2 : Notations communes aux deux méthodes.

On cherche à synthétiser le "facteur de réseau" du réseau d'antennes dans laquelle nous considérons que nous avons N éléments rayonnants, c'est à dire que nous allons travailler pour que le module au carré de la fonction complexe :

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{p=1}^N I_p \cdot f_p(\theta, \varphi) \cdot \exp\left(\frac{2i\pi}{\lambda} \cdot \vec{OM}_p \cdot \vec{u}(\theta, \varphi)\right)$$

qui représente la puissance émise loin de la source reste dans un gabarit fixé par l'utilisateur sur l'horizon, c'est à dire sur l'ensemble des directions angulaires (θ, φ) . En fait, l'horizon est échantillonné et l'on considère m directions avec $m \gg N$ où le module carré du facteur de réseau devra satisfaire le gabarit fixé par une borne inférieure $bl(\theta, \varphi)$ et par une borne supérieure $bu(\theta, \varphi)$ pour ces m échantillons.

De plus, on a les notations suivantes :

I_p : poids complexe associé à l'élément n° p.

$f_p(\theta, \varphi)$: diagramme élémentaire de directivité du capteur p. Ce diagramme permet de prendre en compte une zone de visibilité différente suivant chaque élément rayonnant.

λ : longueur d'onde associée à l'onde émise.

\vec{OM}_p : vecteur positionnement de l'élément n° p par rapport à un point fixe O.

$\vec{u}(\theta, \varphi)$: vecteur d'onde normé pour les directions (θ, φ) dans le repère de coordonnées sphériques centré en O.

Pour définir le gabarit, on se donne deux vecteurs constitués par une borne inférieure $bl(\theta, \varphi)$ et par une borne supérieure $bu(\theta, \varphi)$ du gabarit pour les m directions retenues, les angles limites du lobe principal, l'oscillation maximale permise dans ce lobe osc.

3 : La méthode des projections.

On place les inconnues dans un vecteur complexe $\mathbf{I} = [I_1 \ I_2 \ \dots \ I_N]^T$ (où T désigne la transposée) et on remplit la matrice

\mathbf{A} telle que : $\forall i \in [1, m]$ et $\forall j \in [1, N]$, $A(i, j) = f_j(\theta_i, \varphi_i) \cdot \exp\left(\frac{2i\pi}{\lambda} \cdot \vec{OM}_j \cdot \vec{u}(\theta_i, \varphi_i)\right)$

à l'itération k :

Si $\mathbf{A} \cdot \mathbf{I}_k$ satisfait le gabarit pour les m directions, on s'arrête.

Sinon, on calcule \mathbf{F}^{k+1} en projetant $\mathbf{A} \cdot \mathbf{I}_k$ sur le gabarit (voir [2]).

Soit \mathbf{F}^{k+1} le vecteur complexe obtenu, dont le module de chacune des composantes est à l'intérieur du gabarit.

On calcule alors \mathbf{I}_{k+1} complexe par :

$$I_{k+1} = \operatorname{argmin}_I \| \mathbf{A} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{F}^k \|$$

On peut alors montrer que : $\forall n$:

$$\| \mathbf{A} * \mathbf{I}_{n+1} - \mathbf{F}^{n+1} \| \leq \| \mathbf{A} * \mathbf{I}_n - \mathbf{F}^n \|$$

Cette méthode a été introduite dans [2] et est donc basée sur les deux idées suivantes :

1 : on projette d'abord le vecteur synthétisé à l'étape précédente sur le gabarit. ($\mathbf{A} \cdot \mathbf{I}_k \rightarrow \mathbf{F}^{k+1}$)

2 : on cherche le vecteur de la forme $\mathbf{A} \cdot \mathbf{I}$ (ensemble des facteurs de réseau) le plus proche du vecteur \mathbf{F}^{k+1} et on itère le processus en 1.

4: La méthode variationnelle.

Elle a été adaptée à la synthèse de diagrammes d'antennes dans [3]. Cette méthode est basée sur la définition d'un critère particulier d'erreur à minimiser entre le facteur de réseau et le gabarit.

En reprenant les notations du paragraphe 2, on cherchera à minimiser :

$$\iint_{\text{lobes secondaires}} |f(\theta, \varphi)|^2 \cdot d\theta \cdot d\varphi + \iint_{\text{lobe principal}} (G(\theta, \varphi) + |G(\theta, \varphi)|) \cdot d\theta \cdot d\varphi$$

où : $G(\theta, \varphi) = (b_u(\theta, \varphi) - |f(\theta, \varphi)|) \cdot (b_l(\theta, \varphi) - |f(\theta, \varphi)|)$

En écrivant alors que ce critère est stationnaire pour une variation du jeu de poids I, on aboutit à un système non-linéaire en I, que l'on met sous la forme :

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{B}(\mathbf{I})$$

où \mathbf{S} est une matrice carrée de dimension $N \times N$ qui ne dépend pas de I et où \mathbf{B} est un vecteur qui dépend de I.

On résoud ce système itérativement : $I_{k+1} = S^{-1} \cdot B(I_k)$

5: Comparaison sur un exemple.

L'exemple est tiré de [4] où la surface est un cylindre de rayon $R=15.34 \cdot \lambda$, les capteurs sont séparés de $d=0.73 \cdot \lambda = \alpha \cdot R$, et on a pris 32 capteurs comme montré sur la figure 1. Le gabarit est montré figure 2.

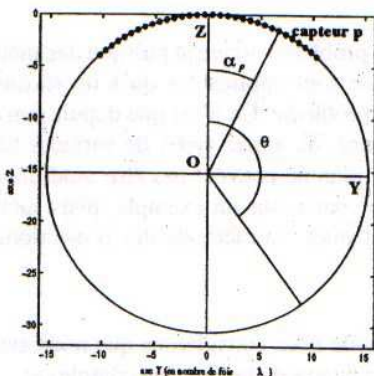


Figure 1 : positionnement des capteurs.

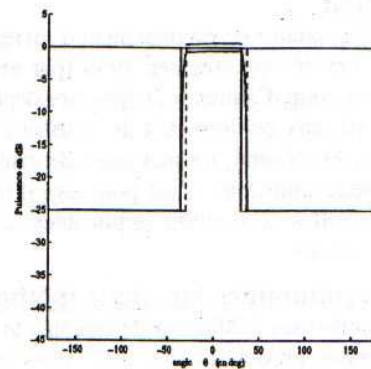


Figure 2 : diagramme désiré.

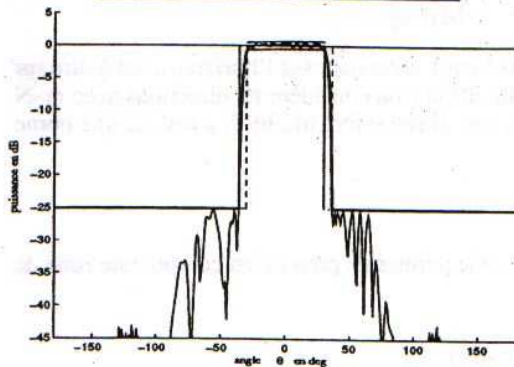


Figure 3 : synthèse par la méthode des projections.

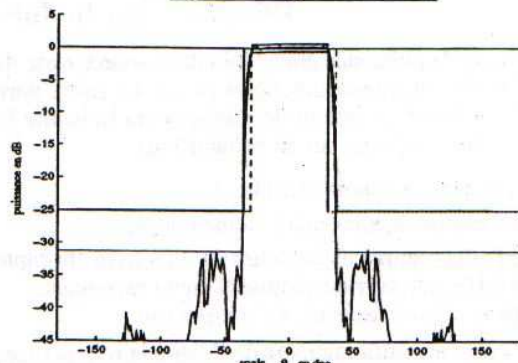


Figure 4 : synthèse par la méthode variationnelle.

Les figures 3 et 4 nous montrent les résultats de la synthèse dans le plan (O,Y,Z) pour des dipôles où on a pris pour le capteur p un diagramme élémentaire $\cos(\theta - \alpha_p)^2$, ceci respectivement pour les deux méthodes.

6: Conclusion.

On constate que les deux méthodes permettent de satisfaire le gabarit ceci pour $m=230$ points. On constate également que la méthode variationnelle permet d'obtenir un niveau de lobes secondaires plus bas ce qui est normal puisqu'on minimise ce niveau dans le critère que l'on demande juste à ce niveau d'être inférieur à p_{max} pour la méthode des projections. Par contre, la méthode des projections permet d'introduire des contraintes sur les variables.

Ces deux méthodes donnent de bons résultats en synthèse pour des réseaux quelconques, même si la méthode variationnelle demande des calculs plus longs (calculs des intégrales doubles).

Il ne faut oublier cependant que l'on n'a pas introduit ici la polarisation, qui amène de graves problèmes pour les réseaux conformés car la contribution de la polarisation de chaque capteur à la polarisation totale devient différente, même si la polarisation de chaque capteur pris séparément est identique.

Bibliographie:

- [1] S.A.Schelkounoff, "A mathematical theory of linear arrays", *Bell Syst.Tech.J.*, vol 22, pp.80-107, janvier 1943.
- [2] O.M.Bucci, G.Franceschetti, G.Mazzarella, G.Panariello, "Intersection approach to array pattern synthesis", *IEE Proc.*, vol 137, n° 6, décembre 1990.
- [3] C.Audoux, H.Diez, D.Renard, "Synthèse d'antennes réseaux conformées.", *séminaire antennes actives*, pp.212-217, Arles, avr.94.
- [4] E.Botha, D.A McNamara, "Conformal array synthesis using alternating projections", *Electronics Letters*, vol.29, n° 20, sept. 1993.