



Comité National Français de Radioélectricité Scientifique

Section française de l'

Union Radio Scientifique Internationale

Siège social : Académie des Sciences, Quai de Conti – Paris

JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CNFRS

" VERS DES RADIOCOMMUNICATIONS RECONFIGURABLES ET COGNITIVES "

PARIS, LES 28 ET 29 MARS 2006

Mesure des Angles Elévation et Azimut Utilisant des Réflectomètres Cinq-Port

A. Judson Braga, Van Yem Vu, Sofia Martinez, Bernard Huyart, et J. C. Cousin

COMELEC – ENST Paris, 46 rue Barrault 75634 Paris Cedex 13 – France
{ judson, sofia.martinez, huyart, cousin }@enst.fr
vanvu@yahoo.com

Résumé

Dans cet article, nous présentons les résultats de mesures des angles d'azimut et d'élévation de la direction d'arrivée (DDA) des signaux RF. Le récepteur fonctionne à la fréquence de 2,4 GHz et consiste en 14 réflectomètres cinq-port et un réseau de 7 x 2 antennes planaires quasi-Yagi. Le réflectomètre cinq-port réalise une conversion directe des signaux RF et utilise un troisième mixeur de redondance pour diminuer la dépendance du système au déséquilibre de phase et amplitude de l'oscillateur local. La procédure d'estimation pour la détection des DDA est basée sur les algorithmes MUSIC et lissage spatial (2D-SS) sur deux dimensions. Le traitement simultané des données sur les deux axes du réseau d'antennes nous permet l'estimation conjointe des angles d'azimut et d'élévation de chaque source même en présence des signaux corrélés.

Mots clés : Direction d'arrivées, MUSIC, réflectomètre cinq-port, antennes quasi-Yagi.

Introduction

L'estimation de la DDA des signaux RF dans les domaines des systèmes radars, des sondeurs de canal et des sonars est un important sujet de recherche depuis les deux dernières décennies [1]. Les techniques de détection de la DDA ont aussi un impact important sur l'étude de la diversité spatiale du canal de propagation (systèmes SDMA) et les systèmes de localisation [1]. Nous proposons une technique de détection directe des angles d'azimut et d'élévation en fonction de mesures de phase réalisées par le réflectomètre cinq-port [2] sans avoir recours à une conversion de fréquence. Les algorithmes Lissage Spatial 2D-SS [3] et MUSIC [4] réalisent respectivement la décorrélation des signaux et la détection des DDA. L'avantage du système cinq-port est que l'information de phase est obtenue à partir des mesures d'amplitude (ou de puissance) de trois combinaisons linéaires des ondes RF et OL (oscillateur local). Cela veut dire qu'un réflectomètre cinq-port est à priori un simple circuit passif linéaire avec deux ports d'entrée et trois ports de sortie. Le réflectomètre cinq-port et le système de mesure sont décrits dans la section I. La procédure d'estimation de la DDA est décrite dans la section II suivie des résultats expérimentaux et d'une conclusion dans la section III.

1. Le cinq-port et le système de mesure

Comme le montre la Fig. 1, le système cinq-port en technologie microruban est composé d'un anneau interférométrique à cinq branches qui joue le rôle d'additionneur des signaux RF et OL, de trois détecteurs de puissance à diodes Schottky (HSMS 2852) et d'autant de filtres passe-bas (RC) à la sortie de chaque diode. A l'instant k , le rapport complexe $\rho[k]$ entre les deux ondes d'entrée (signal RF et signal OL) est obtenu par combinaison linéaire des puissances (P_3, P_4, P_5) des signaux à la sortie des filtres passe-bas.

Autrement dit, $\rho[k] = aP_3[k] + bP_4[k] + cP_5[k] + d$, où a, b, c et d sont des constantes de calibrage. Ce rapport complexe $\rho[k]$ est déterminé après un traitement numérique.

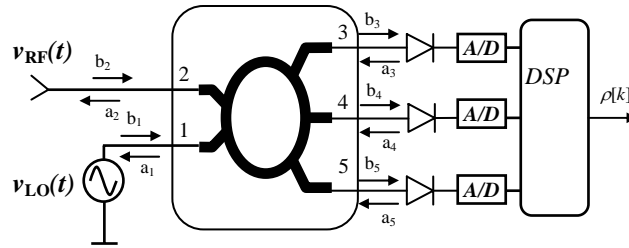


Figure 1 : Le réflectomètre cinq-port

Quatorze antennes quasi-Yagi en technologie planaire sont utilisées comme éléments rayonnants de polarisation verticale dans le système de réception. Elles forment un réseau (7 X 2) dans un plan défini par les axes Y et Z de notre repère. Les distances entre éléments consécutifs suivant les axes Y et Z sont respectivement $\lambda/2$ à 2.4 GHz et 6.8 cm. En émission, quatre antennes directives placées en champ lointain sont positionnées avec des angles d'azimut et d'élévation de $(-53^\circ, 21^\circ)$, $(-18^\circ, -4.5^\circ)$, $(20.5^\circ, -14.5^\circ)$ et $(52^\circ, 7^\circ)$ par rapport à l'axe X. Notre expérience s'est déroulée en deux phases, la première traitant le cas de signaux CW non cohérents et la seconde phase celui de signaux corrélés. Nos réflectomètres cinq-port utilisant la technologie microruban sont adaptés à la fréquence d'émission (2.4 GHz). Chaque sortie des diodes est connectée à un échantillonneur bloqueur (S/H). Ce système nous permet de convertir simultanément en signaux numériques les 42 canaux analogiques correspondant aux 3 sorties BF des 14 antennes en utilisant seulement 3 CAN (voir la Fig. 2). En bande de base, le processeur se charge de calculer le rapport complexe entre les entrées RF et OL et de calculer les DDA.

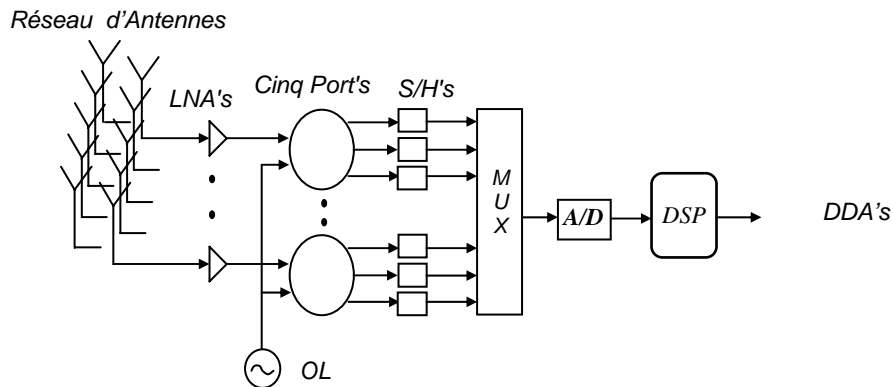


Figure 2 : Système de mesure

2. Procédure d'estimation de la DDA

En supposant l'arrivée de N signaux sur un réseau de $M_y \times M_z$ antennes, la matrice de données en bande de base $x[k]$ formée de la concaténation des $M_y \times M_z$ enveloppes complexes $\rho[k]$ mesurés peut être représentée par la relation matricielle suivante :

$$x[k] = As[k] + n[k] \quad (1)$$

où $s[k]$ est le vecteur des enveloppes complexes des signaux, $n[k]$ est le vecteur bruit additif et $A(\varphi, \theta)$ est la matrice formée de la concaténation des N vecteurs directeurs $a(\varphi, \theta)$, φ étant l'angle d'azimut et θ l'angle d'élévation de la direction d'arrivée des sources.

$$a(\varphi, \theta) = \left[1 \quad e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(\Delta y \cos \theta \cdot \sin \varphi + \Delta z \sin \theta)} \quad \dots \quad e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}[\Delta y(M_y - 1) \cos \theta \cdot \sin \varphi + \Delta z(M_z - 1) \sin \theta]} \right]^T \quad (2)$$

M_y et Δ_y sont, respectivement, le nombre d'éléments et la distance entre deux éléments consécutifs suivant l'axe Y . De même, M_z et Δ_z sont définis par le nombre d'éléments et la distance entre deux éléments consécutifs dans l'axe Z . Pour chaque échantillon, les données de sortie des récepteurs placés sur l'axe Y sont alignées aux données de l'axe Z dans un même vecteur de la matrice d'observation $x[k]$. Pour une série de T observations, la matrice de corrélation empirique $(M_y \times M_z)^2$ est définie par :

$$\hat{R}_x = \frac{1}{T} x[k] x[k]^H \quad (3)$$

H indique la transposé conjugué complexe d'une matrice. La matrice de corrélation peut aussi s'écrire en utilisant le modèle suivant :

$$R_x = E[\hat{R}_x] = A R_s A^H + \sigma^2 I \quad (4)$$

où R_s est la matrice de covariance du vecteur signal, σ^2 est la puissance du bruit et I est la matrice identité. Si les signaux sont non cohérents, l'algorithme MUSIC est utilisé pour l'estimation des DDA [3]:

$$P_{MUSIC} = \frac{a^H(\varphi, \theta) a(\varphi, \theta)}{a^H(\varphi, \theta) E_N E_N^H a(\varphi, \theta)} \quad (5)$$

où le vecteur E_N représente le sous-espace bruit de R_x . Dans le cas des signaux corrélés, un lissage spatial 2D-SS est utilisé avant l'utilisation de l'estimateur MUSIC.

3. Résultats et conclusions

Deux essais expérimentaux ont été réalisés dans un environnement qui vise à simuler l'espace libre en limitant au mieux les trajets multiples. Pour le premier, 4 trajets ont été simulés par 4 émetteurs de signaux non cohérents CW à 2,4 GHz. Les antennes quasi-Yagi utilisées en réception assurent un faible niveau de couplage entre les éléments. La DDA des quatre sources est bien estimée par le système cinq-port/MUSIC (voir Fig. 3) à l'exception de l'angle d'élévation de la quatrième antenne d'émission qui présente une erreur de $5,5^\circ$. Les valeurs théoriques sont marquées dans la courbe par des étoiles. Pour le deuxième essai expérimental correspondant au cas cohérent, la quatrième antenne d'émission a été enlevée. La configuration n'est pas modifiée par ailleurs. Encore une fois les résultats montrent les bonnes performances du système où l'algorithme Lissage Spatial 2D-SS est appliqué avant l'estimateur MUSIC. Le lissage spatial 2D-SS divise le réseau d'antennes de 7×2 éléments en six sous réseaux de 4×2 éléments. Une erreur maximale de $4,5^\circ$ est constatée pour l'angle azimut de l'antenne 2 comme la montre la Fig. 4. Cette erreur est due entre autre aux réflexions multiples parasites dues à l'environnement indoor de nos expériences.

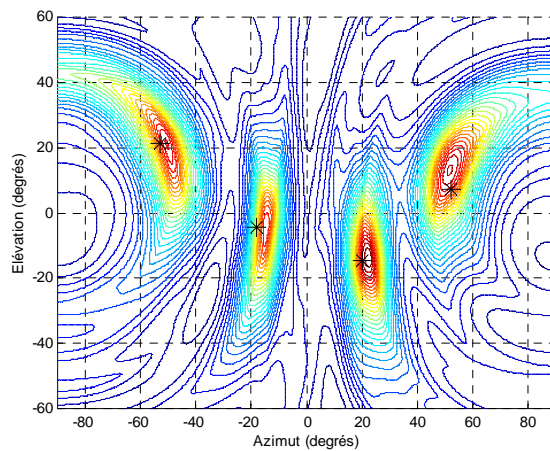


Figure3 : Estimation des angles azimut et élévation de la DDA de « signaux non cohérents ». Valeurs théoriques (étoiles) : $(-53^\circ, 21^\circ)$, $(-18^\circ, -4.5^\circ)$, $(20.5^\circ, -14.5^\circ)$ et $(52^\circ, 7^\circ)$. Valeurs estimées (courbe): $(-50.5^\circ, 21^\circ)$, $(-15^\circ, -5.5^\circ)$, $(22^\circ, -13.5^\circ)$ et $(51.5^\circ, 12.5^\circ)$.

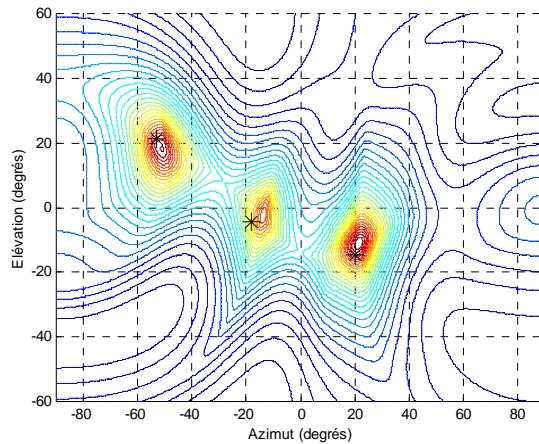


Figure4 : Estimation des angles azimut et élévation de la DDA de « signaux cohérents ». Valeurs théoriques (étoiles) : $(-53^\circ, 21^\circ)$, $(-18^\circ, -4.5^\circ)$ et $(20.5^\circ, -14.5^\circ)$. Valeurs estimées (courbe): $(-51^\circ, 18^\circ)$, $(-13.5^\circ, -2^\circ)$ et $(21.5^\circ, -11^\circ)$.

Remerciements

Les auteurs remercient CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil) et COFECUB (Comité Français d'Evaluation de la Coopération Universitaire avec le Brésil) pour leur assistance et leur soutien.

Références bibliographiques

- [1] KRIM, H.; and VIBERG, M., "Two Decades of Array Signal Processing Research", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 67-94, July 1996.
- [2] SOUSA, F. Rangel de; HUYART, Bernard; NEVEUX, Guillaume; and Garcia A. , Beatriz. "Five-port junction: In the way of general public applications". In: EUMC 2002, Milan. Proceedings of the 32nd EuMC 2002.
- [3] BRAGA, A. Judson; VU, Y. Van; HUYART, Bernard; and COUSIN, J. C., "Wideband spatio-temporal channel sounder using music and enhanced 2D-SS". In: ECPS 2005, Brest. Proceedings of ECPS 2002.
- [4] SCHMIDT, Ralph O., "Multiple emitter location and signal parameter estimation," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. ap-34, no. 3, pp. 276-280, march 1986.