

Antenne à onde de fuite multifaisceau pour l'estimation d'angle d'arrivée aux fréquences millimétriques

Julien Sarrazin¹, Guido Valerio¹

¹Sorbonne Université, CNRS, Laboratoire de Génie Électrique et Électronique de Paris, 75252, Paris, France
Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire de Génie Électrique et Électronique de Paris, 91192, Gif-sur-Yvette, {julien.sarrazin; guido.valerio}@sorbonne-universite.fr

Mots clés : Antennes à onde de fuite, estimation de directions d'arrivée
Keywords : leaky-wave antennas, Direction-of-Arrival estimation.

Résumé

Cet article introduit une antenne à onde de fuite entièrement métallique opérant autour de 27 GHz. Son originalité réside dans sa capacité à former de multiples faisceaux pour une même fréquence. Grâce à cela et à une dispersion accrue via des corrugations dans un guide d'onde rectangulaire, l'antenne est capable de scanner dans son plan H sur une plage angulaire de 180° avec une bande de fréquence de seulement 3.7%. Des simulations montrent ainsi qu'avec un algorithme de type MUSIC dans le domaine fréquentiel, il est possible d'estimer l'angle d'arrivée de plusieurs sources sans ambiguïté.

Introduction

Afin d'exploiter plus efficacement les ressources spatiales et d'ainsi réduire la consommation des réseaux de télécommunications sans fil, les stations de base utilisent des techniques de formation de faisceau (*beamforming*) qui consistent à focaliser leur puissance émise/reçue vers l'utilisateur mobile concerné. Toutefois, la direction de ce dernier doit être estimée, ce qui est aujourd'hui effectué via un processus d'apprentissage (*beamtraining*) long et coûteux en termes de ressources (beam scanning séquentiel), d'autant plus que les faisceaux sont étroits, comme dans le cas des bandes de fréquences millimétriques. Des solutions bas coût et peu complexes d'estimation d'angle d'arrivée peuvent répondre à cette problématique. Cet article présente ainsi une antenne à onde de fuite permettant d'effectuer cette estimation d'angle d'arrivée.

Antenne à onde de fuite

L'antenne périodique proposée est illustrée en Figure 1 et est basée sur la cellule unitaire représentée en Figure 2. Il s'agit d'un guide d'onde rectangulaire modulé périodiquement (de période p) par des fentes longitudinales. La période p est choisie suffisamment large pour que cette antenne à onde de fuite (LWA : *Leaky-Wave Antenna*) supporte, sur la bande 26.5-27.5 GHz, jusqu'à cinq harmoniques spatiales ayant une vitesse de phase supérieure à la vitesse de la lumière et qui par conséquent contribuent au rayonnement. Chacune de ces cinq harmoniques est responsable de la formation d'un faisceau dont la direction varie avec la fréquence et est donnée par la relation :

$$\theta^n = \sin^{-1} \frac{\beta^n}{k_0}$$

où k_0 est le nombre d'onde en espace libre et β^n la constante de phase associée à l'harmonique spatiale d'ordre n .

Afin d'augmenter la vitesse à laquelle la direction des faisceaux de la LWA varie avec la fréquence, des corrugations sont ajoutées dans la partie inférieure du guide, ce qui a pour effet d'augmenter l'indice effectif du milieu sans utiliser de diélectrique. Ceci permet d'aboutir à une antenne purement métallique ne souffrant pas de pertes diélectriques qui diminueraient son efficacité de rayonnement.

Constituée de 10 périodes, le rayonnement de cette LWA dans le plan H (plan XZ) à plusieurs fréquences est présenté en Figure 3, pour une excitation soit par le port 1 (traits pleins), soit par le port 2 (pointillés). En combinant le rayonnement issu des deux ports, il est ainsi possible de scanner l'entièreté de la plage angulaire. Toutefois, le gain diminue naturellement lorsque les faisceaux approchent $\theta = \pm 90^\circ$. La variation du gain sur la plage angulaire

de 180° est de 15 dB. Sur une plage angulaire d'intérêt restreinte à $\pm 63^\circ$ (resp. $\pm 50^\circ$), la variation de gain se limite néanmoins à 10 dB (resp. 6 dB).

Cette antenne est utilisée en simulation conjointement avec un algorithme MUSIC dans le domaine temporel pour estimer la direction d'arrivée de 14 sources non corrélées. Le pseudospectre obtenu est présenté en Figure 4. Les directions des 14 sources sont correctement estimées et sont représentées par les cercles orange. Malgré le fait que l'antenne à onde de fuite rayonne plusieurs faisceaux pour chaque fréquence, les directions d'arrivée sont tout de même estimées sans ambiguïté. Ceci est dû au fait qu'il existe une certaine diversité fréquentielle parmi les différents faisceaux formés par les différentes harmoniques spatiales. Toutefois, les vecteurs de réponse antennaire (c.à.d. le gain en fonction de la fréquence) n'étant pas linéairement indépendants entre différents angles d'arrivée, des pics fantômes (c.à.d. qui ne correspondent à aucune source) apparaissent dans le pseudospectre MUSIC. Néanmoins, le plus fort de ces pics, indiqué par le triangle jaune, reste en dessous du plus faible des pics correspondant à une direction d'arrivée réelle (dans cet exemple, une marge de 3 dB existe).

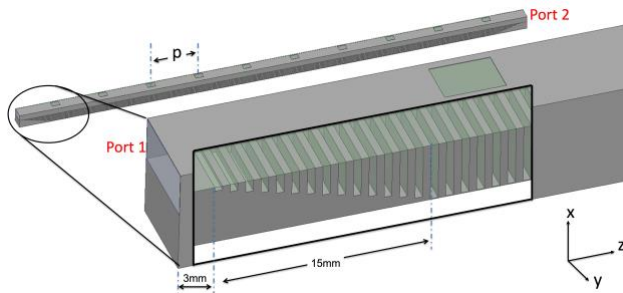


Figure 1 - Antenne périodique à onde de fuite (10 périodes spatiales)

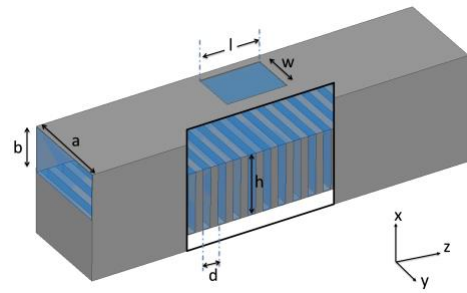


Figure 2 - cellule unitaire de l'antenne périodique à onde de fuite

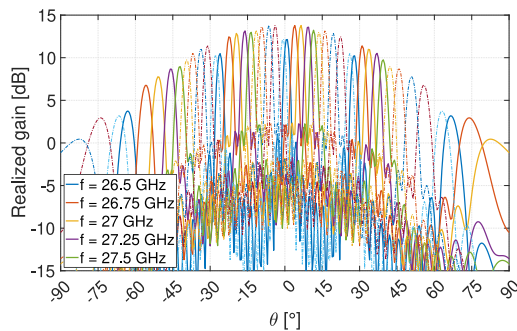


Figure 3 - Gain de l'antenne à onde de fuite (plan H).
Traits pleins : excitation du port 1, pointillés : excitation du port 2

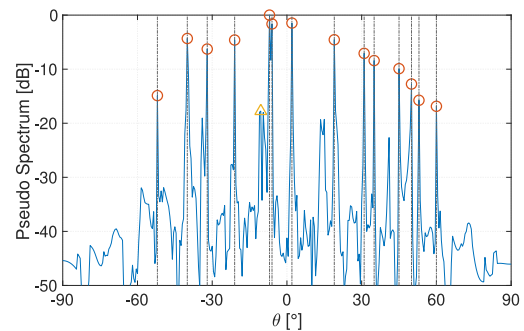


Figure 4 - Pseudospectre MUSIC obtenu à partir du rayonnement des deux ports de l'antenne à onde de fuite (SNR = 15 dB, 200 snapshots, 144 échantillons fréquentiels)

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet ANR BeSensiCom soutenu par l'Agence Nationale de Recherche sous la référence ANR-22-CE25-0002 ainsi que dans le cadre de l'action COST CA20120 INTERACT.