

## Focalisation Spatiale de Données via une approche temporelle

S. Golstein<sup>1,2</sup>, M. Odhiambo<sup>1,2</sup>, F. Horlin<sup>1</sup>, P. De Doncker<sup>2</sup>, J. Sarrazin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sorbonne Université, Laboratoire d'Électronique et Électromagnétisme, L2E, F-75005 Paris, France

<sup>2</sup> Wireless Communication Group - OPERA Dpt., Université libre de Bruxelles, Belgique  
sigolste@ulb.ac.be

**Résumé** - Cet article présente une nouvelle méthode permettant d'envoyer, de manière sans fil et focalisée, de la donnée dans l'espace. Ce nouveau schéma, appelé « focalisation spatiale de données » permet d'outrepasser les performances en termes de largeur de faisceau des réseaux d'antennes classiques. En utilisant moins d'antennes que les techniques habituelles de formation de faisceaux, il est possible de ne décoder la donnée qu'en une zone restreinte et prédéfinie. En particulier, en focalisant la donnée plutôt que la puissance du signal émis, un faisceau de 5° est obtenu avec un réseau de 3 antennes.

### 1. Introduction

La capacité d'envoyer de l'information sans fil décodable seulement dans une zone délimitée, le geocasting, fait l'objet de nombreuses recherches actuelles. Cette propriété permet à l'utilisateur de recevoir de l'information dès qu'il se trouve dans une zone prédéfinie sans être localisé, respectant ainsi les problèmes liés au respect de la vie privée. De plus, cela permet de transmettre une donnée géolocalisée dans des lieux où aucun système de positionnement n'existe.

Pour cela, les stations de base doivent être équipées de réseaux d'antennes permettant de transmettre de l'information seulement dans certaines directions privilégiées. Le problème avec cette approche est qu'il existe une limite physique fondamentale qui relie la largeur d'un faisceau à la taille électrique du réseau, [5]. La résolution angulaire de cette approche est par conséquent bornée. Afin d'outrepasser cette limitation, l'idée de ce papier est de chercher à focaliser la donnée plutôt que la puissance rayonnée. Ainsi, le problème revient à traiter les signaux émis de façon à dégrader la constellation rapidement dès que le récepteur s'éloigne de la direction désirée. Nous nommons cette approche Focalisation Spatiale de Données (FSD) par opposition à la focalisation de puissance obtenue classiquement par formation de faisceaux.

Ce papier propose une implémentation de FSD qui permet d'obtenir des faisceaux très étroits avec un nombre réduit d'antennes. Cette approche peut être implémentée via la Modulation Directionnelle (MD), une technique qui a été développée dans le but d'augmenter la sécurité des communications sans fils au niveau de la couche physique. La MD utilise un réseau d'antennes à l'émetteur et a la capacité de transmettre une constellation voulue

dans la direction de communication désirée tout en la dégradant dans toutes les autres directions.

Plusieurs méthodes permettant la synthèse de la MD ont été développées et peuvent être séparées en 2 grandes catégories : 1) celle modifiant directement les structures rayonnantes du réseau d'antennes et 2) celle modifiant séparément les excitations à chaque élément du réseau, [1].

La première méthode a été étudiée en [2,3]. Néanmoins, cette technique est difficilement réalisable du fait de la nécessité de gérer des interactions complexes entre le champ proche d'une antenne et le rayonnement du système en champ lointain. La seconde classe d'émetteurs MD offre plus de degrés de libertés et de souplesse dans son implémentation. Le vecteur de pondération de l'excitation du réseau est obtenu par une optimisation afin d'obtenir un certain diagramme de rayonnement et une certaine dégradation de la constellation transmise en dehors du lobe principal [4]. Différentes synthèses de MD sont résumées en [1].

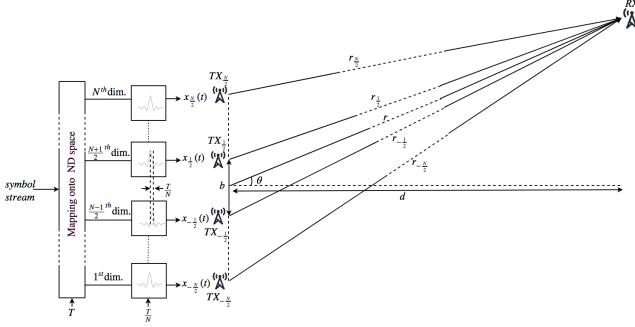
Toutefois, la MD présente une certaine complexité dans le calcul des vecteurs de pondération et ses performances ne sont pas optimales pour des réseaux d'antennes avec peu d'éléments. La largeur du faisceau d'information est du même ordre de grandeur que le lobe principal du facteur de réseau. La sélectivité angulaire n'est ainsi pas accrue par cette approche.

Dans cet article, une technique originale de FSD est par conséquent introduite afin de pallier ce problème. La section 2 est dédiée à la description théorique de cette méthode et des résultats de simulations numériques sont ensuite présentés et commentés dans la section 3.

### 2. Approche temporelle de la focalisation spatiale de données

Pour implémenter la FSD, un mapping des symboles à transmettre est effectué dans un espace à N-dimensions orthogonales, [5]. La nouveauté de l'approche réside dans le fait d'envoyer chaque signal issu de chaque dimension par une antenne unique d'un réseau. Afin de créer N dimensions, la dimension temporelle est ici utilisée. Si T définit la durée d'un symbole, chaque projeté du symbole sera transmise par une antenne particulière, modulant une impulsion en cosinus surélevé avec un décalage temporel relatif de T/N, réalisant ainsi une orthogonalité temporelle. Par exemple, si l'on dispose d'un réseau de 3 antennes, chaque symbole sera mappé dans un espace à 3

dimensions. La projeté sur la dimension 1 du symbole à transmettre sera envoyée par la première antenne, la projeté sur la dimension 2 par la deuxième antenne mais décalée temporellement de  $T/3$  et la projeté sur la dimension 3 par la dernière antenne, également décalée temporellement de  $T/3$  par rapport à la seconde antenne. Un schéma de l'architecture de la station de base réalisant de la FSD à  $N$  dimensions est représenté en Figure 1.

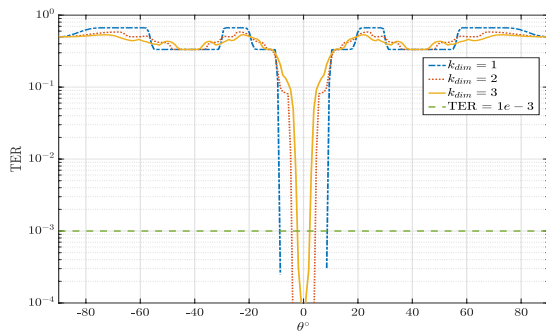


**Figure 1. Architecture de la FSD à  $N$  dimensions temporelles et  $N$  antennes.**

Si le récepteur se trouve aligné par rapport au centre du réseau d'antennes ( $\theta = 0^\circ$ ), les différentes composantes du symbole émis lui arriveront avec un délai relatif de  $T/N$ . L'orthogonalité de la base sera donc conservée et la donnée sera interprétable. Par ailleurs, s'il change de position, les différentes composantes du symbole ne lui parviendront plus avec un délai relatif de  $T/N$ . Dès lors, l'orthogonalité temporelle sera perdue, la constellation reçue sera fortement dégradée, engendrant un taux d'erreur binaire (TER) élevé et par conséquent un décodage erroné de l'information.

### 3. Simulations et résultats

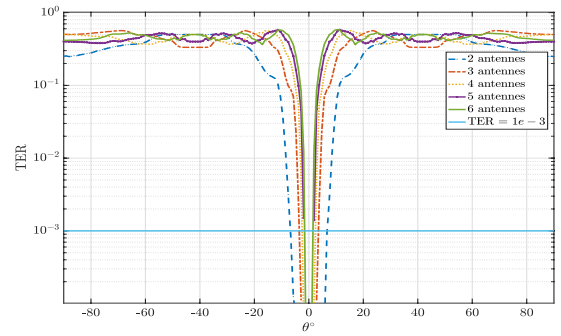
Cette section est dédiée à la présentation de résultats numériques de simulations Matlab implémentant la FSD à  $N$  dimensions temporelles dans un environnement dépourvu de multi-trajet.



**Figure 2. TER en fonction de  $\theta$ ,  $N=3$  antennes,  $RSB = 25\text{dB}$ ,  $b=0.75\lambda_c$ ,  $f_d=20\text{MHz}$ ,  $f_c=2.45\text{GHz}$ .**

La figure 2 présente l'évolution du TER en fonction de la position du récepteur pour différentes tailles de constellation. Ici, un réseau de trois antennes est utilisé à l'émission.  $k_{dim}$  représente le nombre de bits codés par dimension. Le nombre de bits par symbole est par conséquent  $N.k_{dim}$ . On observe que, plus la constellation

est grande, plus le faisceau où le TER est faible est étroit. On note qu'on peut obtenir, avec un réseau de seulement 3 antennes, une plage de moins de  $5^\circ$  autour de la direction désirée présentant un TER inférieur à  $10^{-3}$ . La figure 3 montre l'évolution du TER en fonction de la position du récepteur lorsqu'on fait varier le nombre d'antennes  $N$  du réseau. On s'aperçoit naturellement que la largeur du faisceau diminue quand  $N$  croît. Par exemple, une largeur de  $4^\circ$  est obtenue quand  $N = 6$ .



**Figure 3. TER en fonction de  $\theta$ ,  $k_{dim} = 2$ ,  $RSB = 20\text{dB}$ ,  $b=0.75\lambda_c$ ,  $f_d=20\text{MHz}$ ,  $f_c=2.45\text{GHz}$ .**

### 4. Conclusions et perspectives

Cet article présente une nouvelle technique prometteuse permettant la transmission de données sans fil de manière focalisée dans l'espace. En combinant une modulation multidimensionnelle à un réseau d'antennes, nous avons montré qu'il est possible d'obtenir des faisceaux très étroits au sein desquels le TER est suffisamment faible pour communiquer. Cette approche de focalisation spatiale de données permet ainsi d'outrepasser les limites classiques rencontrées avec la formation de faisceaux pour des applications de type geocasting. De futures études seront réalisées afin d'étudier l'influence des environnements multi-trajets. La version longue du papier intégrera plus de détails sur l'implémentation de la technique ainsi que les premiers résultats obtenus en chambre anéchoïque.

### Références

- [1] Y Ding, V. Fusco, "Developments in Directional Modulation Technology", FERMAT, 2016.
- [2] A.Babakhani, D.B. Rutledge, A. Hajimiri, "Transmitter Architectures Based on Near-Field Direct Antenna Modulation.", IEEE Journal Of Solid-State Circuits, pp. 2674-2692, December 2008.
- [3] A.Babakhani, D.B. Rutledge, A. Hajimiri, « Near-Field Direct Antenna Modulation », IEEE microwaves magazin, February 2008.
- [4] Y. Ding, V. Fusco, "A Vector Approach for the Analysis and Synthesis of Directional Modulation Transmitters", IEEE Transactions on Antennas And Propagation, Vol. 62, No. 1, January 2014.
- [5] J. Sarrazin, S. Golstein, M. Odhiambo, P. De Doncker, F. Horlin, "Spatial Data Focusing, an alternative to Beamforming for geocasting scenarios", IEEE APS Boston, 2018.