

## 4.1. DeL-IoT\_

**Titre du projet :** Devices localization for NB-IoT based applications

**Porteur du projet :** Pascal CHARGE

**Etablissement :** Université de Nantes

**Laboratoire :** IETR

**Laboratoire étranger associé :** South China University of Technology (SCUT), DING Yuehua, JI Fei

**Mots clés :** NB-IoT, géolocalisation, estimation direction d'arrivée

**Verrous scientifiques ou technologiques :** Proposer des techniques et des systèmes de faible complexité ayant les performances les plus élevées en termes de précision et de capacité de détection.

**Etat :** La date de début du projet est le 02/05/2019 et la date de fin est prévue le 31/03/2021

**Nature des mobilités :** Mobilité non effectuée à ce jour pour cause de crise sanitaire.

**Impact de la collaboration internationale :** Malgré les conditions sanitaires, le partenariat IETR-SCUT reste actif. La volonté de collaborer sur des projets scientifiques reste intacte.

### 4.1.1. Résumé du projet :

La géolocalisation d'objets qui utiliseront un standard de type NB-IoT pourra s'avérer d'une très grande utilité, ce qui permettra de promouvoir de nombreuses applications. Dans le cadre de ce projet, il est proposé de développer des méthodes de localisation basées sur l'estimation de la direction d'arrivée (DoA) des signaux émis par des dispositifs communicants sur les bandes NB-IoT.

Les contraintes majeures à prendre en compte sont la faible durée d'émission des dispositifs ainsi que le nombre potentiellement très important de dispositifs à localiser.

L'ambition du projet est aussi de poursuivre nos collaborations avec SCUT, afin de mettre en place un co-encadrement de thèse et répondre à d'autres appels internationaux.

### 4.1.2. Résultats scientifiques du projet :

#### 4.1.2.1. Résumé

Tout en prenant un peu de recul par rapport au contexte du standard NB-IoT, nous nous sommes penchés sur l'étude de techniques dites « économiques » en termes de matériel et de données à traiter pour l'estimation de la direction d'arrivée DoA. Généralement, les techniques de recherche de DoA par des capteurs multiples exploitent un réseau linéaire uniforme (ULA) d'antenne, dont l'espacement entre les éléments voisins est fixé à la moitié de la longueur d'onde. Cependant, le nombre maximum de sources détectables est limité par le nombre de capteurs. Lorsque le nombre de sources devient important, le coût du matériel nécessaire s'avère trop élevé. Pour réduire le coût du matériel des systèmes de géolocalisation basées sur les DoA, une stratégie prometteuse est la configuration basée sur un échantillonnage spatial non uniforme. Si la configuration d'échantillonnage non uniforme est correctement conçue, il est possible d'obtenir un ensemble de données virtuelles équivalent aux cas classiques, tels que le réseau linéaire uniforme (ULA) d'antenne. De cette manière, le coût du matériel peut être limité à un faible niveau par rapport au scénario conventionnel.

Dans nos travaux, après avoir construit un ensemble de données virtuelles, de nombreuses techniques peuvent être appliquées pour estimer les paramètres comme par exemple les techniques de sous-espace MUSIC ou ESPRIT, de formation voies. En fait, ces techniques ne sont pas directement applicables aux échantillons directs de données. Un prétraitement doit être opéré pour obtenir un ensemble de données virtuelles afin de pouvoir appliquer les techniques d'estimation des paramètres. La stratégie étudiée permet de mettre en œuvre l'estimation de DoA avec un coût moindre en termes de capteurs ou d'échantillons, et d'accroître significativement le nombre de sources détectables. Plus particulièrement, nous nous sommes concentrés sur les techniques d'échantillonnage spatial par réseau coprimé et réseau nested.

#### 4.1.2.2. Les publications réalisées :

Les travaux menés dans le cadre du projet se sont aussi inscrits dans la dynamique des travaux de thèses de deux doctorants de l'IETR (Zhe FU et Xiao YANG) issus de SCUT (partenaire du projet). Parmi les publications réalisées par l'équipe dans le périmètre du projet nous pouvons citer en particulier :

Z. Fu, P. Chargé P, Y. Wang, "A virtual nested MIMO array exploiting fourth order difference coarray," IEEE Signal Processing Letters, 2020: Paper SPL-28305-2020.

X. Yang, Y. Wang, and P. Chargé, "Hole locations and a filling method for coprime planar arrays for DOA estimation," IEEE Communication letters, 2020 (Early access)

X. Yang, Y. Wang, P. Chargé, and Y. Ding, "An efficient DOA estimation method for co-prime linear arrays," IEEE Access, vol. 7, pp. 90874-90881, 2019.

#### 4.1.2.3. Dissémination :

Une partie des études a fait l'objet d'une présentation en conférence internationale :

Z. Fu, P. Chargé P, Y. Wang, "Fourth Order Cumulant Based Active Direction of Arrival Estimation Using Coprime Arrays," ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2020 : 4547-4551.

Si les conditions de mobilité internationales le permettent, afin d'étoffer nos partenariats avec la Chine, la présentation de ces travaux est envisagée dans le cadre de séminaires au sein d'autres universités chinoise.

#### 4.1.2.4. Equipement et ressourcement

L'étude portant principalement sur des techniques d'estimation, le projet n'est pas concerné par l'acquisition ou le développement d'équipements.

#### 4.1.2.5. Description des travaux scientifiques réalisés

### DOA estimation using coprime array

Z. FU, X. YANG, Y. WANG, Y. DING, P. CHARGE

Coprime array utilize two uniform linear sub-arrays of M and N sensors respectively (Figure 1) for estimating DOA of impinging signals. There are two main research interests for coprime array.

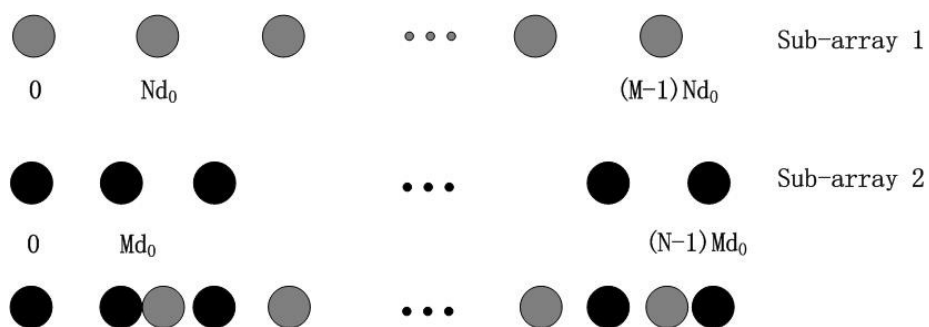


Figure 1. Coprime array structure

One path is to implement DOA estimation separately with the two sub-arrays. The coprime property is applied to eliminate the ambiguity angles and obtain the correct estimation. Larger aperture of coprime array can limit the mutual coupling effect and the spatial resolution can be improved due to the coprime property.

Direction-of-arrival (DOA) estimation with a co-prime linear array, composed of two uniform linear arrays with inter-element spacing larger than half-wavelength of incoming signals, has been investigated a lot thanks to its high-resolution performance.

For better computational efficiency, one class of methods treat the co-prime linear array as two sparse uniform linear subarrays. From each of them, high-precision but ambiguous DOA estimation is obtained, and the ambiguities are eliminated according to the co-prime property.

However, the existing methods of this kind suffer from the insufficient reliability and high complexity. In this project, the potential problems associated with the DOA estimation with two co-prime subarrays are discussed, and a reliable and efficient DOA estimation method is proposed. For each subarray, the true DOAs are treated as their equivalent angles and the pair matching of them is accomplished by exploring the cross-correlations between the equivalent signals associated with the equivalent angles. Compared with other existing methods, the proposed method is able to achieve a better estimation performance in all situations, in terms of accuracy and complexity.

Another research direction is to use two sub-arrays to generate a new virtual array by using the concept of coarray or coprime linear arrays (CLAs).

Coprime array for direction of arrivals finding has attracted increasing interest since it can provide enhanced degrees of freedom. However, due to the holes in the difference coarray, the available information is not fully exploited.

In our work, we propose a rearranged coprime array configuration to fill the holes in the coprime difference coarray. The proposed new array allows filling the holes and reducing the mutual coupling effect at the same time. We classify all the holes in a holes-triangle as a design guideline for the proposed rearranged coprime array. Few redundant sensors of the generalized coprime array are rearranged at sparse positions, which are determined by the position of holes. By doing so, the consecutive part of the conventional coprime difference coarray can be significantly increased. Meanwhile, the mutual coupling can also be dramatically reduced because the redundant sensors are relocated at remote positions. Simulation results verify the superiority of the proposed array compared with other sparse arrays.

Coprime linear arrays (CLAs) have drawn lots of attention. Efforts have been made to reveal the hole locations in the difference coarrays of CLAs, based on which many methods have been proposed to fill the holes, lengthening the consecutive difference coarray part and increasing the effective degrees of freedom (DOFs). Compared with CLAs, two dimensional (2D) coprime planar arrays (CPAs) are sometimes more relevant to real applications. However, no closed-form expressions for the hole locations in the difference coarray of a CPA have been found in the open literature, and the advantage in terms of DOFs of CPAs has not been well explored.

In this project, the structure of the difference coarrays of CPAs is investigated and the exact expressions of all hole positions are provided. Then, a holes filling method is proposed, by which the most critical holes in the difference coarray can be filled such that a difference coarray with more consecutive lags as well as higher effective DOFs can be obtained.

In active direction of arrivals (DOA) sensing, the multiple-input multiple-output (MIMO) radar can lead to more degrees of freedom (DOFs). The DOFs can be further increased when the fourth order cumulants are used in MIMO. However, most array geometries are not designed for fourth order cumulants based MIMO and this array geometry optimization problem is still an open issue. To have a simple guideline for this optimization problem, we reformulate it into two separate problems, which are a fourth order sum coarray optimization problem and a second order difference coarray problem. The fourth order sum coarray optimization is realized by solving a postage stamp problem and a virtual nested array can be obtained. The number of elements in this virtual nested array can be significantly increased with only a few physical sensors. The corresponding inter-element spacing of virtual nested array is expanded simultaneously. Then the second order difference coarray is adopted to the virtual nested array to further increase the DOFs. Numerical results validate the high DOFs achieved by our proposition