

Titre : Déploiement optimal d'une couverture radio 5G par UAV

Encadrants : Frédéric LAUNAY

Laboratoire d'accueil : Laboratoire d'Automatique et d'Informatique pour les Systèmes (LIAS)

Contexte : La couverture 5G est classiquement apportée par des nœuds radioélectriques (nommés stations de base gNB) statique. Dans le cadre de manifestation événementielle (Jeux Olympique, Tour de France, Concert, ...) ou d'exercice de sécurité civile/militaire, le déploiement de drones (UAV) apporte une couverture radioélectrique ponctuelle dont les performances seront à étudier selon les cas d'usage et selon les critères suivants : Débit, latence, densité, consommation énergétique, fiabilité du lien (call drop, radio failure) et minimisation d'énergie.

Mots clés : Contrôle multi-agents, théorie des graphes, services 5G (mMTC, URLLC, eMBB), optimisation énergétique, Canal radio, UAV, déploiement multi-tiers, COMP, massive MIMO

Sujet : Dans le cadre de missions d'opération d'urgence ou pour des manifestations événementielles, les opérateurs apportent une connectivité supplémentaire en ajoutant une station de base. Toutefois, la couverture n'est pas optimisée puisque la station de base est fixe et son emplacement est estimée au mieux pour apporter une couverture radioélectrique en fonction de la densité de population donnée.

Déploiement multi-tiers

Les drones sont déclarés comme cellule mobile, activant un lien IAB avec la station de base.

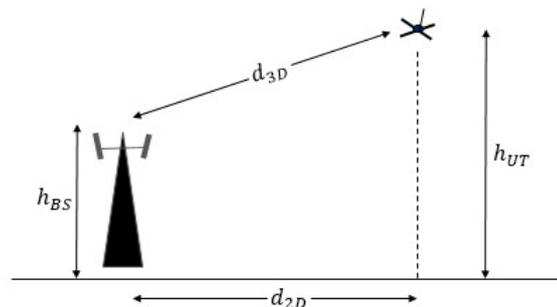


Figure 1 : Distance Drone – Station de base

La qualité du lien radioélectrique dépend selon les conditions (RMa-AV, RMi_AV, UMa_AV), la hauteur de l'antenne, le choix de la fréquence, ... [3].

A titre d'exemple pour une propagation en non-visibilité directe (NLOS), l'atténuation se calcule [3] entre la station de base (de hauteur comprise entre 10 m et 300m) et l'UAV (à moins de 10 km) :

$$PL_{RMa-AV-NLOS} = \max(PL_{RMa-AV-LOS}, -12 + (35 - 5.3 \log_{10}(h_{UT})) \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}\left(\frac{40\pi f_c}{3}\right))$$

Afin d'augmenter la couverture, les UAV communiquent les uns avec les autres. La robustesse du lien radioélectrique sera prise en compte par rapport à l'atténuation du signal. Cela assure une synchronisation des UAV et un contrôle de la position des UAV.

Les indicateurs de performances : KPI

Le lien radioélectrique doit être supérieur à une valeur de seuil pour pouvoir assurer un débit minimum.

Les indicateurs de performance permettent d'évaluer :

- 1) Le débit total
- 2) La probabilité de la perte du lien radio
- 3) L'échec d'un appel
- 4) La consommation énergétique (autonomie de vol)

Dans le cas de déploiement multi-tiers, un UAV a le rôle d'antenne relai. Le calcul de la capacité du nœud permet de prendre en compte le risque de goulot d'étranglement.

La modélisation par une matrice de graphe permettra de simuler les performances atteintes en fonction de la configuration.

Des optimisations seront proposées en fonction des cas d'usage :

- Optimisation du débit total : Soit K utilisateurs, le débit de chaque utilisateur est défini par $M(R) = (R_1, R_2, \dots, R_K)$, la fonction d'utilité M définit les performances en terme de débit R_k de chaque utilisateur sous contrainte de puissance.
- Minimisation de la puissance d'émission du nœud radioélectrique est défini par est défini par $P(R) = (P_1, P_2, \dots, P_K)$ sous contrainte d'assurer une qualité de service minimale, avec P_k , la puissance du mobile k .

L'optimisation

Selon le cas d'usage, différentes stratégies d'optimisations peuvent être élaborées [4] :

- 1) Optimisation du débit maximum avec des contraintes de puissance
- 2) Minimisation de la puissance du drone pour une QoS donnée.

A titre d'exemple,

$$\underset{p}{\text{maximiser}} (R(p)) = \sum_{k \in K} \sum_{n \in \mathcal{X}} R_k^n(p^n)$$

Sous contrainte :

$$C1 : \sum_{n \in \mathcal{X}} p_k^n \leq P_k^{\text{max}}, k \in K$$

$$C2 : p_k^n \leq P_k^{\text{max}}, k \in K, n \in \mathcal{X}$$

$$C3 : p_k^n > 0, k \in K, n \in \mathcal{X}$$

L'allocation de ressource

La station de base embarquée dans l'UAV alloue des ressources radioélectriques, nommées PRB, à chaque utilisateur.

L'allocation de ressources est gérée en temps réel, selon des algorithmes d'ordonnancement et en se basant sur l'atténuation du canal.

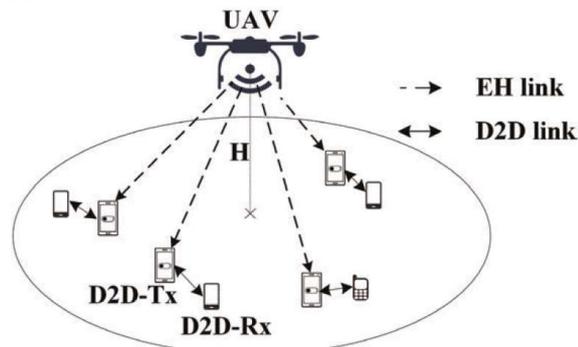


Figure 2 : Allocation de ressource en temps réel [5]

[5] propose des algorithmes d'optimisation de l'efficacité énergétique en prenant en compte l'allocation des ressources radioélectriques.

L'état de l'art présentera les méthodes analytiques qui permettant d'élaborer des politiques d'allocation

dynamiques des ressources, et d'analyser les performances de communications D2D au sein d'un réseau sans fil. Deux méthodes sont particulièrement adaptées :

- la modélisation des fluides spatiaux [6] développée dans le but d'évaluer les performances du réseau, comme le rapport signal/brouillage et bruit (SINR) et la probabilité de panne au moyen d'expressions analytiques.
- La modélisation par géométrie stochastique (loi de poisson, théorie de file d'attente, optimisation de Lyapunov et des algorithmes « drift plus penalty »)

Profil souhaité :

Le candidat devra posséder des connaissances en mathématiques appliqués, en automatique et/ou en traitement du signal.

Une bonne connaissance en programmation (Matlab) est nécessaire. Un bon niveau en français et en anglais est fondamental.

Contact : frederic.launay@univ-poitiers.fr

Références

- [1] A. M. Seid, G. O. Boateng, B. Mareri, G. Sun and W. Jiang, "Multi-Agent DRL for Task Offloading and Resource Allocation in Multi-UAV Enabled IoT Edge Network," in IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 18, no. 4, pp. 4531-4547, Dec. 2021, doi: 10.1109/TNSM.2021.3096673.
- [2] Z. Ullah, F. Al-Turjman and L. Mostarda, "Cognition in UAV-Aided 5G and Beyond Communications: A Survey," in IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, vol. 6, no. 3, pp. 872-891, Sept. 2020, doi: 10.1109/TCCN.2020.2968311.
- [3] 3GPP TR 36.777 : Technical Specification Group Radio Access Network; Study on Enhanced LTE S upport for Aerial Vehicles (Release 15)
- [4] Loü Salaun, Thèse 2020, Resource allocation and optimization for the non-orthogonal multiple access
- [5] Long D. Nguyen, Trung Q. Duong and Hoang D. Tuan, Real Time Convex Optimisation for 5G Networks and Beyond
- [6] Yangjao Hou, 2020, Evaluation of energy efficiency in mobile cellular networks using a fluid modeling framework

Vocabulaire

UMa-AV : Urban-macro with aerial vehicles
UMi-AV : Urban-micro with aerial vehicles
RMa-AV : Rural-macro with aerial vehicles