



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

Encadrants : Frédéric LAUNAY et Patrick COIRAULT

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 link failure*) et minimisation d'énergie.

Financement : Ministère

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

Descriptif de la thèse

Résumé : La gestion du spectre radioélectrique permet d'allouer des ressources radioélectriques partagées entre les utilisateurs tout en limitant ou annulant les interférences entre les utilisateurs. Le sujet de thèse vise à optimiser la position d'une flotte de drones et de lever des solutions technologiques permettant au drone d'avoir une connectivité continue et sécurisée au réseau 5G pour améliorer la couverture en limite de zone de la station de base ou pour apporter du très haut débit en zone dense. L'optimisation s'appuie sur des caractéristiques techniques actuelles des drones, à savoir :

- 1) Coopération en temps réel des informations de localisation avec des problématiques d'horloges partagées synchronisées
- 2) Ordonnancement en temps réel des ressources radioélectriques entre la station de base et les relais radios (drones)
- 3) Communication : la portée et la durée de communication d'un drone sont limitées. Le débit total (capacité) dépend de la distance entre les drones (agents) et les UE (cibles) ainsi que les interférences entre drones.
- 4) L'autonomie des drones est un facteur limitatif sur le temps de vol du drone et sur la portée. Les solutions de télécommunication choisies doivent être optimisées.

Description

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 nœud radio ou un lien IAB avec la station de base.

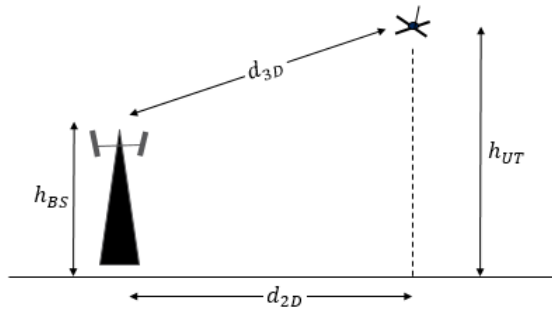


Figure 1 : Distance Drone – Station de base

La qualité du lien radioélectrique dépend selon de plusieurs paramètres comme l'environnement (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 défini 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 :

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

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

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

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.

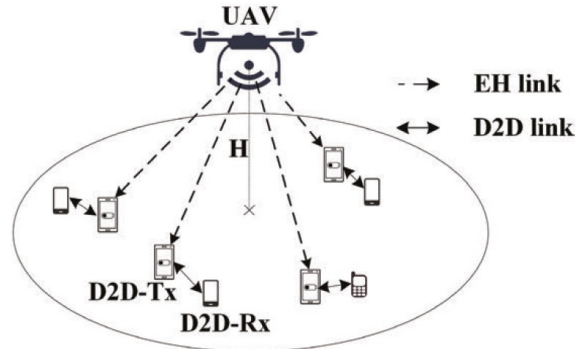


Figure 2 : Allocation de ressource en temps réel [5]

[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 » et « surrogate optimization »)

Vocabulaire

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

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 Support 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

Verrous à lever

Le sujet de la thèse a pour objectif d'étudier l'allocation de ressources radio multi-agents couplée avec la gestion flexible de flottes (UAV). L'objectif étant d'optimiser le partage du spectre radio sans interférence dans un contexte multi-acteurs mobiles pour accroître la capacité de transmission (cas d'usage d'une foule pour un évènement).

Le verrou à lever est la mobilité et l'évolution en temps réel des canaux radioélectriques entre les terminaux et les drones et d'évaluer l'impact sur les capacités de transmission.

Les contraintes et les problématiques sont identifiées dans le cadre de la 5G (les spécificités devront également être prises en compte comme le *Network Slicing* et les cas d'usages associés).

Il sera important d'évaluer dans quelles mesures les travaux d'allocation de ressources menés sur les réseaux mobiles sont adaptables à ces nouvelles techniques de gestion du spectre et de gestion d'interférences.

La thèse comprendra tout un aspect relatif à la théorie des graphes et aux outils d'optimisations. La théorie des graphes sera utilisée pour modéliser les stratégies des agents cherchant à optimiser ses ressources tout en réduisant ses interférences vers les autres agents ou pour décrire les choix disponibles pour les opérateurs dans leur stratégie de mise en place de nouveaux modes de gestion du spectre.

Par la suite, tous les modèles mis au point seront optimisés afin de proposer un ensemble d'allocation de fréquences de manière dynamique et offrant le meilleur compromis possible en termes de services (QoS) attendus.

Les attentes : Au cours de cette thèse, le (la) doctorant(e) devra prouver la faisabilité d'un contrôle d'agents mobiles à partir d'indicateurs de performances. Cette faisabilité s'appuiera sur des preuves mathématiques et par des simulations sous Matlab.

Un PoC (*Proof of Concept*) permettra de valider la faisabilité via un banc 5G expérimental. L'usage de ce banc sera utilisé pour présenter les travaux à des élèves du collège et Lycée dans le cadre de la féminisation des métiers techniques et pour la fête de la science.

Une étude de brevet sera réalisée dans le cadre de missions d'urgences (ProSe).

Profil du/de la candidat(e)

Profil recherché :

Vous préparez un Master 2 ou une Ecole d'ingénieur dans le domaine des mathématiques appliquées et vous avez une première expérience en recherche opérationnelle. Vous avez des compétences en mathématiques appliquées, théorie des graphes et optimisation (convexe, non convexe).

Vous possédez des connaissances de bases en télécom (réseaux mobiles). Rigueur, autonomie et bonne communication sont des atouts indispensables à votre réussite sur le poste.

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

Le plus de l'offre :

Description de l'équipe : Le/La doctorant(e) intégrera le Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes » (LIAS) et sera impliqué dans le département R&T de Poitiers disposant d'une

plateforme expérimentale 5G.

Pour cette thèse, les activités au niveau du LIAS et du département :

- apporteront une connaissance du fonctionnement de la 5G, en rapport avec l'évolution des usages et des terminaux (*Network Slicing*) dans le cadre de la croissance très importante de ces trafics et des besoins (URLLC),
- aideront le/la doctorant(e) dans l'optimisation des coûts des infrastructures réseaux (approche multi-tiers), par zones géographiques dans le cadre de choix stratégiques de déploiement des nœuds radioélectrique (Drones) avec de nouvelles architectures, d'améliorer la QoS et les performances des réseaux mobiles,
- fourniront des modèles analytiques de consommation d'énergie des équipements pour estimer, prévoir la consommation d'énergie des réseaux.

Qu'est ce qui fait la valeur ajoutée de cette offre ?

Cette thèse permettra au doctorant(e) de développer son expertise en mathématiques appliquées et de les mettre en pratique sur des domaines d'application télécom avec un PoC (Proof of Concept) et l'étude d'un brevet pour la sécurité civile.

Le/La doctorant(e) contribuera à un projet de recherche qui permettra de développer des modèles et prototypes pour répondre à des problématiques technico-économiques dans une optique « développement durable ».

De plus, il/elle abordera des sujets porteurs et des problématiques d'avenir liées à la prochaine génération de réseaux de téléphonie mobile « 6G ».

Le/La doctorant(e) valorisera ses travaux sous forme de communications scientifiques (conférences et revues), sous forme de collaborations avec des chercheurs des laboratoires Français et Etrangers, à la vulgarisation scientifique et à la féminisation des métiers ('Nous sommes la génération égalité').

Approche méthodologique – planning

Dans ce contexte, vous devrez :

- Comprendre le fonctionnement, les enjeux et les ruptures associés aux cas d'usage 5G.
- Comprendre l'architecture RAN et l'allocation des ressources radioélectriques dans un environnement complexe (OPEN-RAN à connaître mais ne sera pas optimisées).
- Modéliser un environnement de drones et optimiser les indicateurs de performances KPI.
- Evaluer les opportunités et les risques d'un point de vue opérateur.

Début de la thèse : Automne 2023

Durée : 3 ans

Documents à fournir :

- Curriculum Vitae et lettre de motivation,
- Notes de Master,
- Score au TOEIC ou équivalent,
- Tout document jugé nécessaire par le candidat pouvant enrichir le dossier de candidature.

Contact : frederic.launay@univ-poitiers.fr