
Sujet de thèse

Laboratoire: Institut Fresnel

Directeurs de thèse : Rémi André, Ali Khalighi
Email : andre@fresnel.fr, Ali.Khalighi@fresnel.fr

Adresse : Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille
Tel : 04 13 94 54 35

Titre :

Optimisation des performances et solutions de transmission pour la future génération des systèmes de communication satellitaire

Description :

Contexte :

La demande croissante pour la connectivité massive dans les applications relevant de l'Internet-des-objets (IoT), ainsi que pour l'accès universel à l'Internet haut débit, suscite un intérêt croissant pour le déploiement de petits satellites en orbite basse (LEO). Les principaux avantages des LEO est que leurs coûts de développement et de lancement sont considérablement inférieurs à ceux des satellites en orbite géostationnaire (GEO). Plusieurs projets ambitieux tels que Starlink de SpaceX, Kuiper d'Amazon, ou encore OneWeb d'Airbus, ont été proposés pour mettre en place un réseau de communication global au niveau de la planète nécessitant le lancement de milliers de microsattellites dans les orbites basses [1]. De tels réseaux satellitaires à très haut débit (Very High Throughput Satellite, VHTS), pourront ainsi répondre aux besoins substantiels en trafic des données [2].

Malgré les avantages précédemment cités, les microsattellites ont des capacités et des ressources (énergétique, calcul, etc.) limitées. La gestion des besoins grandissants en débit de transmission et en trafic de données rend alors nécessaire le développement de solutions performantes et robustes permettant des liaisons de transmission très haut-débit entre les satellites mais aussi entre les satellites et les stations terrestres. Dans ce contexte, la technologie d'optique en espace libre (lasercom ou FSO, Free-Space Optics) peut permettre à la nouvelle génération des réseaux satellitaires de transmettre des données avec des débits très élevés, en toute sécurité, et sur de très longues distances [3].

Pour les liaisons de transmission vers les utilisateurs, des liaisons radiofréquences sont utilisées avec une approche multifaisceaux dans le but de minimiser les interférences. Le schéma de la Figure 1 illustre un exemple de liaisons satellitaires avec un lien « backbone » FSO [4]. Aussi, le schéma de la Figure 2 montre les liaisons FSO entre les microsattellites LEO pour une constellation de type Starlink, par exemple [5].

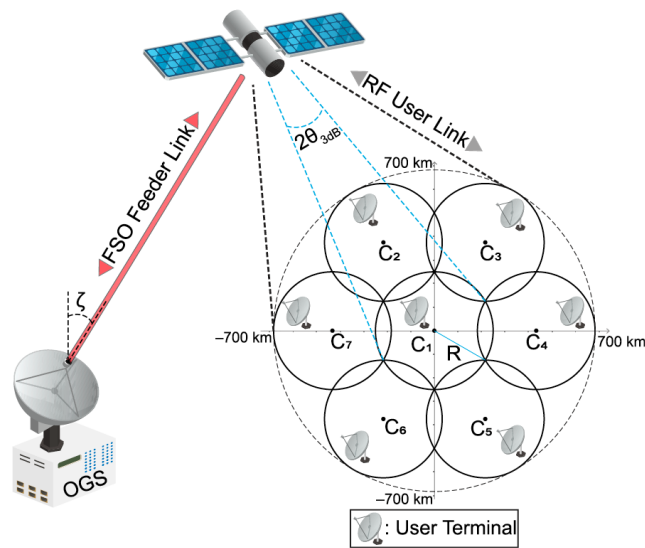


Fig.1. Architecture d'un réseau satellitaire multifaisceaux avec une connexion backbone FSO [4].

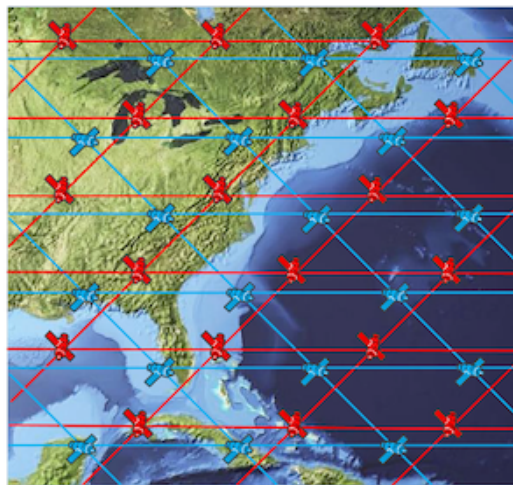


Fig.2 : Liaisons laser entre les microsattellites dans une constellation LEO pour une couverture universelle [5].

Problématiques et objectifs de la thèse :

En pratique, la mise en place de telles liaisons s'associe avec plusieurs challenges en matière de **(a)** fiabilité des liaisons et de **(b)** gestion de ressources au niveau des microsattellites. En effet, la distribution irrégulière des utilisateurs (sur Terre) et la variabilité des connexions (et donc du trafic de données au cours de la journée) appellent à la conception de nouvelles architectures efficaces pour l'allocation flexible des ressources nécessaires en fonction du trafic demandé [6].

(a) Le premier objectif de la thèse est de proposer des techniques de transmission avancées pour établir des liaisons de communication à haut débit et à grande fiabilité entre les microsatsellites [7]. Ces solutions doivent prendre en compte les conditions atmosphériques ainsi que les vibrations des payloads qui peuvent provoquer des erreurs de pointage (mauvais alignement entre l'émetteur et le récepteur) relativement importantes [4]. Cette première étape passe par la modélisation des canaux de communication optiques pour les liaisons satellite-Terre et inter-satellites et sera réalisée en collaboration avec les chercheurs de l'Université d'Édimbourg. Cette étude prendra en compte les particularités des liaisons et les caractéristiques des payloads.

(b) Dans un deuxième temps, on proposera des stratégies d'allocation de ressources automatisées au moyen de l'apprentissage automatique (deep learning) dans le but d'augmenter la capacité des liaisons satellite-Terre [8-9]. On exploite ainsi la flexibilité des microsatsellites en termes de gestion des ressources, telle que l'allocation de puissance et de la bande passante.

Collaborations

Cette thèse sera réalisée en collaboration étroite avec les chercheurs des Universités d'Édimbourg (Ecosse) et d'Alto (Finlande) avec des séjours courte-durée prévus le long de la thèse. Elle bénéficiera également d'un réseau de collaboration international sur les communications spatiales dans le cadre du projet *COST Action CA19111 NEWFOCUS* coordonné par l'Institut Fresnel. Aussi, ce travail se réalisera avec des échanges réguliers avec nos partenaires industriels.

Compétences requises :

Une base solide en traitement du signal est un atout important. Une expérience ou formation en transmissions numériques et/ou en optique sera la bienvenue. Le(la) candidat(e) doit **impérativement** avoir un très bon niveau d'anglais (expressions orale et écrite) et prêt(e) pour des séjours courte-durée dans les laboratoires partenaires.

Références bibliographiques :

- [1] S. Clarck, SpaceX smashes record with launch of 143 small satellites, SPACEFLIGHTNOW, 24 Jan. 2021, <https://spaceflightnow.com/2021/01/24/spacex-launches-record-setting-rideshare-mission-with-143-small-satellites/>
- [2] N. U. L. Hassan et al., "Dense Small Satellite Networks for Modern Terrestrial Communication Systems: Benefits, Infrastructure, and Technologies," *IEEE Wireless Communications*, 2020
- [3] M.A. Khalighi, M. Uysal, "Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014
- [4] E. Zedini, A. Kammoun, M. -S. Alouini, "Performance of Multibeam Very High Throughput Satellite Systems Based on FSO Feeder Links with HPA Nonlinearity," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2020
- [5] A. U. Chaudhry, H. Yanikomeroglu, "Free space optics for next-generation satellite networks," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 2020.
- [6] B. Deng et al., "The Next Generation Heterogeneous Satellite Communication Networks: Integration of Resource Management and Deep Reinforcement Learning," *IEEE Wireless Communications*, 2020

- [7] S. Huang and M. Safari, "Free-Space Optical Communication Impaired by Angular Fluctuations," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 11, pp. 7475-7487, Nov. 2017.
- [8] X. Hu et al., "Multi-Agent Deep Reinforcement Learning-Based Flexible Satellite Payload for Mobile Terminals," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 9, pp. 9849-9865, Sept. 2020
- [9] F. G. Ortiz-Gomez et al., "Convolutional Neural Networks for Flexible Payload Management in VHTS Systems," in *IEEE Systems Journal*, Sept. 2021

Optimized Performance and Transmission Techniques for Next Generation Satellite Communication Networks

Supervisors: Dr. Rémi André, Dr. Ali Khalighi
Email: andre@fresnel.fr, Ali.Khalighi@fresnel.fr

Context:

With the rise of Internet-of-Things (IoT) applications and the need for massive connectivity, future 6G networks should meet the demands for the global access to high-speed Internet [1]. One of the envisaged solutions consists in deploying non-terrestrial networks such as networks of satellites or microsatellites in the low Earth orbit (LEO). Such satellites have a much lower manufacturing and launch costs than the traditional satellites, such as those placed in the geostationary orbit. Such very high-throughput satellite (VHTS) networks will be able to meet the future substantial data traffic requirements [1,2]. The specificity of these satellites (or microsatellites) is that they have limited capacities and resources (energy, computing, etc.). However, they are more flexible in terms of resource management, such as power and bandwidth allocation. Another particularity of such networks is the irregular distribution of users (on the Ground) and the variability of connections and, therefore, the data traffic over time. This calls for energy efficient and high-speed connectivity solutions for inter-satellite and satellite-to-ground links. In particular, the use of laser communications or free-space optics (FSO) technology promises high rate and secure data transmission over very large distances [3].

For transmission links to users, radio frequency links are used with a multi-beam approach in order to minimize interference. Figure 1 illustrates an example of satellite links with an FSO backbone [4]. Also, Fig.2 shows the FSO links between the LEO microsatellites for a Starlink type constellation, for example [5].

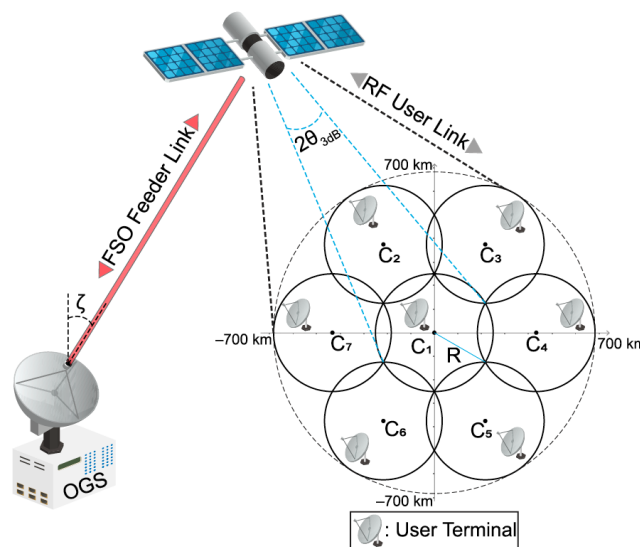


Fig.1. Architecture of a multi-beam satellite network with an FSO backbone connection [4].

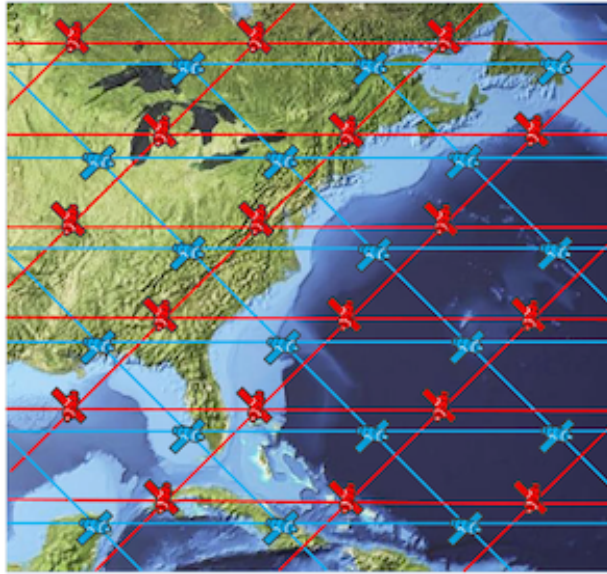


Fig.2 : Intersatellite FSO links in a LEO constellation ensuring a universal coverage [5].

Thesis objectives:

In practice, the establishment of such links is associated with several challenges in terms of **(a)** link availability/reliability and **(b)** resource management at the satellite. Indeed, the irregular distribution of users (on the Ground) and the variability of data traffic during the day appeal for the design of efficient architectures with flexible resource allocation according to the requested traffic [6].

(a) The first objective is to propose advanced transmission techniques to establish high-speed communication links with high-reliability between microsatellites or between a microsatellite and a Ground station [7]. These solutions must in particular take into account the atmospheric channel and the vibrations of the payloads, which can cause significant pointing errors (i.e., misalignment between the transmitter and the receiver) [4]. This first step includes the modeling of optical communication channels and will be carried out in collaboration with the University of Edinburgh.

(b) In a second step, machine learning-based mechanisms will be designed for performing automated resource allocation in order to increase the capacity of satellite-Earth links [8-9]. This will exploit the flexibility of microsatellites in terms of resource management, such as power and bandwidth allocation.

Collaborations

This PhD thesis will be carried out in close collaboration with researchers of the Universities of Edinburgh (Scotland) and Aalto (Finland) with planned short-term stays in the partner research labs. It will also benefit from an international collaboration network on space

communications within the framework of the COST Action CA19111 NEWFOCUS, coordinated by the Fresnel Institute, as well as with regular exchanges with our industrial partners.

Required Skills :

A solid background in signal processing is an important asset. An experience or training in optics and/or digital communications is also very welcome. The candidate **must** have a very good English language proficiency (oral and written expression) and be keen for short-term stays in partner laboratories.

References:

- [1] S. Clark, SpaceX smashes record with launch of 143 small satellites, SPACEFLIGHTNOW, 24 Jan. 2021, <https://spaceflightnow.com/2021/01/24/spacex-launches-record-setting-rideshare-mission-with-143-small-satellites/>
- [2] N. U. L. Hassan et al., "Dense Small Satellite Networks for Modern Terrestrial Communication Systems: Benefits, Infrastructure, and Technologies," *IEEE Wireless Communications*, 2020
- [3] M.A. Khalighi, M. Uysal, "Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014
- [4] E. Zedini, A. Kammoun, M. -S. Alouini, "Performance of Multibeam Very High Throughput Satellite Systems Based on FSO Feeder Links with HPA Nonlinearity," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2020
- [5] A. U. Chaudhry, H. Yanikomeroglu, "Free space optics for next-generation satellite networks," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 2020.
- [6] B. Deng et al., "The Next Generation Heterogeneous Satellite Communication Networks: Integration of Resource Management and Deep Reinforcement Learning," *IEEE Wireless Communications*, 2020
- [7] S. Huang and M. Safari, "Free-Space Optical Communication Impaired by Angular Fluctuations," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 11, pp. 7475-7487, Nov. 2017.
- [8] X. Hu et al., "Multi-Agent Deep Reinforcement Learning-Based Flexible Satellite Payload for Mobile Terminals," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 9, pp. 9849-9865, Sept. 2020
- [9] F. G. Ortiz-Gomez et al., "Convolutional Neural Networks for Flexible Payload Management in VHTS Systems," in *IEEE Systems Journal*, Sept. 2021