



Compensation des effets de la turbulence atmosphérique sur les liens optiques par optique intégrée

Mitigation of atmospheric turbulence effects on optical links by integrated optics

Soutenance de thèse – Luca Rinaldi

Jeudi 3 Février 2022 à 14h30

Salle Marcel Pierre, ONERA, Centre de Palaiseau

Lien visioconférence : <https://rdv.onera.fr/defense-room-thesis-luca-rinaldi-030222>

L'accès à la salle de soutenance est restreint aux membres du Jury et aux personnes identifiées. Du fait de la situation sanitaire liée au Covid, toutes les recommandations devront être respectées.

Devant le jury composé de :

Antonella D'ORAZIO	Politecnico di Bari, Bari	Rapporteur
Jean-Philippe BERGER	IPAG, Grenoble	Rapporteur
Antonella BOGONI	Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa	Examinatrice
Marc OLLIVIER	IAS, Orsay	Examinateur
Vincent MICHAU	ONERA, Palaiseau	Directeur de thèse
Guillermo MARTIN	IPAG, Grenoble	Co-directeur de thèse
Nadège COURJAL	FEMTO-ST, Besançon	Invité
Mathieu BOUTILLIER	CNES, Toulouse	Invité

Résumé :

La croissance des liaisons optiques en espace libre conduit à des systèmes dont les débits de données atteignent des dizaines de gigabits/s. Pour atteindre de telles performances, une des approches les plus fréquemment envisagées consiste à coupler le faisceau optique dans une fibre optique monomode, et ainsi bénéficier des technologies développées pour les liaisons par fibre.

Du fait de la propagation à travers la turbulence atmosphérique, le couplage du faisceau dans la fibre est dégradé. Une optique adaptative, en corrigeant la phase de l'onde par l'intermédiaire d'un miroir déformable, permet d'atténuer cet effet. Une alternative à l'optique adaptative standard consiste à décomposer l'onde perturbée en un ensemble de modes de propagation associés à différents guides d'ondes, puis à combiner de manière cohérente ces modes guidés. La décomposition des modes est réalisée par un dispositif de multiplexage spatial. Une fois le faisceau décomposé en un ensemble de modes, ces derniers sont recombinaés dans un circuit photonique intégré. Un tel dispositif, compact, sans pièce mobile, présente un intérêt certain vis-à-vis de l'optique adaptative. De plus, n'étant pas affecté par les effets de la scintillation, il semble bien adapté aux angles d'élévation faibles rencontrés avec des liaisons satellite LEO-sol. Dans ce cas, en effet, la propagation se fait sur une grande distance dans l'atmosphère et le faisceau est affecté de fortes fluctuations d'intensité à la réception.

Si le concept de ce dispositif a été proposé il y a plus de 10 ans, des composants susceptibles de permettre sa mise en œuvre sont apparus récemment. L'objectif de la thèse est d'identifier les points clés associés à la mise en œuvre de ce dispositif, de proposer des solutions et de préciser les besoins pour les futurs composants. Un lien sol-satellite en orbite basse a été considéré comme cas applicatif.

La première partie est consacrée à l'analyse de l'erreur liée au nombre fini de modes de décomposition, dite erreur spatiale. Une approche analytique a été développée afin de décrire en moyenne les effets de la turbulence sur la décomposition du faisceau sur un ensemble de modes de propagation. Elle a notamment permis d'identifier les modes les mieux adaptés. Une modélisation numérique a complété cette approche pour évaluer les variations instantanées du canal qui influent sur le lien télécom et comparer deux architectures de recombinaison. L'application au cas de la liaison satellite-sol à basse élévation a permis d'évaluer le nombre de modes nécessaires c'est-à-dire la complexité des composants à développer.

La deuxième partie de la thèse est dédiée à l'analyse des effets temporels. Le dispositif de multiplexage étant passif, les effets temporels sont liés au circuit de recombinaison et à la boucle de contrôle. Une modélisation numérique a permis de caractériser le spectre temporel des déphasages à appliquer dans le circuit photonique et, ce faisant, d'évaluer la bande passante requise dans le cas applicatif évoqué. Parallèlement, un circuit photonique SiN incorporant des déphaseurs a été caractérisé. Le temps de réponse mesuré apparaît difficilement compatible des valeurs évaluées par modélisation numérique, particulièrement en prenant en compte les lois de commande itératives classiquement utilisées pour ce type de dispositif. Ce comportement justifie le développement du circuit LiNbO₃ qui a été effectué dans le courant de la thèse.

La dernière partie de la thèse est consacrée à la proposition d'une loi de commande originale, plus rapide que les lois de commande itérative, pour le contrôle d'un circuit photonique de recombinaison. Cette approche pourrait permettre d'éviter, dans certains cas, le recours à des circuits photoniques rapides mais plus complexes à développer. En l'absence de circuit de recombinaison, le concept a été validé expérimentalement en l'appliquant au contrôle d'un miroir déformable avec un multiplexeur spatial.

Mots clés : turbulence atmosphérique, liaison optique, espace libre, optique adaptative, multiplexeur spatial, optique intégrée.