

Communications optiques à très haut débit utilisant le codage spatio-temporel

Mots clés :

- **Directeur de thèse** : YVES JAOUEN
- **Co-encadrant(s)** :
- **Unité de recherche** : Laboratoire Traitement et Communication de l'Information
- **Ecole doctorale** : École Doctorale Informatique, Télécommunications, Électronique de Paris
- **Domaine scientifique principal**: Divers

Résumé du projet de recherche (Langue 1)

L'accroissement de la capacité de systèmes de communications optiques passe par une augmentation de l'efficacité spectrale, qui ne peut-être obtenue que par des modulations multi-états (QAM par exemple) associées à une détection cohérente. Bien que la détection cohérente soit une technique appliquée depuis longtemps en radio-communication, elle n'avait fait l'objet d'aucun développement industriel en optique en raison de sa complexité d'implémentation. En effet, le traitement de signal en réception se limitait auparavant à des solutions tout-optique (contrôle de la polarisation, PLL optique, ...) de mise en œuvre complexe, voire hasardeuse. La vitesse des circuits électroniques actuels permet à ce jour d'effectuer le traitement numérique. Les algorithmes actuellement implémentés sont rudimentaires dans leur principe mais très innovants pour le domaine des communications optiques. Les premiers systèmes industriels intégrant ces technologies commencent à fonctionner à 40 et 100Gb/s avec des constellations de type PolMux-QPSK. Il est à souligner que l'émergence des techniques de traitement de signal va au-delà du seul objectif à court terme de l'accroissement des débits mais ouvre la voie à de profondes transformations au niveau des architectures des systèmes de transmissions optiques. Des algorithmes plus avancés permettraient de compenser plus d'effets néfastes liés à la propagation dans les fibres. Le multiplexage en polarisation permet le doublement de l'efficacité spectrale, mais au détriment d'une dépendance accrue aux effets de la polarisation, tel que la PDL (Polarisation Dependent Loss). Ce dernier effet assimilable aux effets d'évanouissement dans les communications radio-fréquences, est susceptible d'induire une perte d'information irréversible. Le codage spatio-temporel, initialement proposé pour les systèmes multi-antennaires (MIMO), a été adapté au canal optique, les 2 polarisations étant assimilables à 2 antennes. Différentes familles de codes (Golden code, Silver code, Alamouti code,...) ont été étudiés dans le cas du format OFDM, les opérations de codage et décodage étant plus simple à effectuer dans le domaine fréquentiel. La réduction des effets de la PDL ont été évalués théoriquement par simulation numérique [1], travaux confirmés par la suite expérimentalement [2].

Résumé du projet de recherche (Langue 2)

Le multiplexage de mode dans une même fibre optique est aujourd'hui présentée comme l'unique solution pour atteindre les capacités de transmission au-delà de 100Tb/s. il est obtenu par l'utilisation de fibres multi-cœurs ou de fibres multi-modes. Une fibre multi-cœurs est constituée de plusieurs cœurs suffisamment espacés pour que le couplage résiduel entre les cœurs soit négligeable. Dans le cas des fibres multimodes, les paramètres opto-géométriques du cœur (diamètre, ouverture numérique) sont ajustés pour permettre la propagation de plusieurs modes guidés. Les différents modes sont excités de manière sélective et séparés spatialement en sortie. Des résultats spectaculaire ont été obtenus très récemment tel que : transmission sur 3 modes combinés à un algorithme MIMO 6x6 [3], transmission record de 109Tb/s (7x97x172Gb/s SDM/WDM/PDM : SDM pour Space Division Multiplexing, WDM pour Wavelength Division Multiplexing, PDM pour Polarisation Division Multiplexing) sur une fibre de 7 cœurs [4]. Tous les résultats actuels ont été obtenus sur de courts tronçons de fibres (~ quelques dizaines de km). Dans ce cas les phénomènes diaphotie résiduelle entre cœurs/modes sont faibles. La transmission multi-tronçons (N tronçons de 50-100 km) et le raccordement des tronçons vont accroître les niveaux de diaphotie. Il n'existe pas de solutions technologiques pertinentes pour s'affranchir de ces phénomènes de diaphotie. De plus, ces niveaux augmenteront inéluctablement avec le nombre des cœurs/modes guidés dans une même fibre. Nous nous proposons d'étendre les techniques de codage spatio-temporels validées dans le cas de systèmes PolMux sur fibre monomode en présence de PDL au cas des fibres multi-cœurs et multi-modes. Les propriétés des fibres en terme de retard temporel entre modes (DMD pour Differential Mode Delay) et de différentiel de pertes entre modes (MDL pour Modal Dependant Loss) auront une influence déterminante sur le choix des codes spatio-temporels à mettre en œuvre. Dans la première partie du travail, il est question d'utiliser les codes spatio-temporels existants et de valider leurs apports pour les communications sur fibres multi-coeurs et fibres multi-modes. Ces derniers codes ont été conçus et optimisés pour le canal radio (modèle de canal de Rayleigh). Le développement d'un modèle de canal pour ces fibres va nous permettre de définir des critères de construction de codes spatio-temporels en vue de s'affranchir partiellement ou complètement de la MDL et des phénomènes de diaphotie. Les solutions algorithmiques proposées seront validées expérimentalement sur la plate-forme cohérente mise en œuvre actuellement à Télécom ParisTech.

Informations complémentaires (Langue 1)

Informations complémentaires (Langue 2)

La réintroduction du concept de la réception cohérente dans le domaine des communications optiques permet de profiter de tout un savoir-faire en traitement numérique du signal dédié jusqu'à présent uniquement au secteur des radio-communications. Afin d'appréhender cette thématique pluridisciplinaire la thèse sera co-encadrée par Ghaya Rekaya-ben Othman (compétences communications numériques) et Yves Jaouën (compétences propagation guidée et télécommunications optiques). [1] S. Mumtaz, G. Rekaya, Y. Jaouën "Space-time codes for optical fiber communication with polarization multiplexing", ICC'10, May 2010. [2] S. Mumtaz, J. Li, S. Koenig, Y. Jaouën, R. Schmogrow, G. Rekaya-Ben Othman and J. Leuthold "Experimental demonstration of PDL mitigation using polarization-time coding in PDM-OFDM systems" Accepted to SPPcom 2011, June 2011. [3] R. Ryf, S. Randel, A. H Gnauck, C. Bolle, R. Essiambre, P. Winzer, D. W. Peckham, A. McCurdy, R. Linge, "Space-division multiplexing over 10 km of three-mode fiber using coherent 6x6 MIMO processing" OFC'11, paper PDPB10, March 2011 [4] J. Sakaguchi, Y. Awaji, N. Wada, A. Kanno, T. Kawanishi, T. Hayashi, T. Taru, T. Kobeyashi, M. Wanatabe, "109-Tb/s (7x97x172-Gb/s SDM/WDM/PDM) QPSK transmission through 16.8-km homogeneous multi-core fiber" OFC'11, paper PDPB6, March 2011.