



THESE INSA Rennes
sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne
pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'INSA DE RENNES
Spécialité : Electronique

présentée par
Linning PENG

ECOLE DOCTORALE : MATISSE
LABORATOIRE : IETR

High Data Rate Transmissions over Plastic Optical Fiber: Theoretical Studies and Experiments

Soutenance prévue le 14.04.2014
devant le jury composé de :

Philippe CHANCLOU

HDR, Chercheur à Orange Labs Lannion / Rapporteur

Christelle AUPETIT-BERTHELEMOT

Professeur des Universités à l'ENSIL / Rapporteur

Philippe GRAVEY

Directeur de Recherche à Télécom Bretagne / Examineur

Daniel ROVIAS

Professeur des Universités à le CNAM Paris / Examineur

Gwillerm FROC

Ingénieur à le MERCE / Invité

Sylvain HAESE

Maître de Conférences à l'INSA de Rennes / Co-Encadrant de thèse

Maryline HELARD

Professeur des Universités à l'INSA de Rennes / Directeur de thèse

Cette thèse traite de l'optimisation des transmissions multiporteuses sur fibre optique polymère (POF). De mise en œuvre plus facile que les solutions traditionnelles à base de câble en cuivre ou de fibres en silice, la POF a néanmoins une bande passante limitée à cause de la dispersion intermodale. La modulation DMT (discrete multi-tone), utilisée pour l'ADSL (asymmetric digital subscriber line) suscite un intérêt croissant pour les transmissions sur fibres afin d'exploiter au mieux la bande passante. Associée à des composants opto-électroniques à faible coût, la POF à saut d'index (SI-POF) offre une solution économique pour les réseaux à l'intérieur des bâtiments.

L'objectif de cette thèse est d'optimiser les paramètres de la transmission multiporteuse sur POF en utilisant une RCLED (resonant cavity light emitting diode) comme source optique et une photodiode à base de silicium à la réception. La réponse du canal ainsi que les fonctions de transfert de puissance statiques et dynamiques de la RCLED sont caractérisées. Les systèmes de transmission SI-POF sont modélisés par un filtre passe-bas Gaussien pour le canal, et complétés par la prise en compte des non-linéarités et le nombre effectif de bits des convertisseurs. Les résultats théoriques, concernant à la fois des systèmes d'émission et de réception originaux sont tous validés de manière expérimentale.

A partir des mesures, des calculs théoriques de capacité ont été effectués pour différentes longueurs de SI-POF. Une technique de 'bit loading', basée sur une approximation particulière des performances, a été proposée et étendue aux systèmes avec codage de canal ; cette technique fournit des débits supérieurs aux techniques de l'état de l'art tout en évitant une allocation de puissance par sous-porteuse.

D'autre part, un nouveau schéma de modulation nommé MB-DFT-S-DMT, pour multi-band discrete Fourier transform-spread DMT, et basé sur un découpage de la bande en sous bandes sur lesquelles sont appliquées des techniques de type SC-OFDM (single carrier orthogonal frequency-division multiplexing) a été proposé. Ce système présentant intrinsèquement un PAPR (peak to average power ratio) moins élevé que les techniques multiporteuses, permet d'augmenter la puissance d'émission. Le gain en performance lié à cette augmentation de puissance est supérieur aux dégradations liées aux non-linéarités de la RCLED. Un système de compensation des non linéarités, applicable dans le domaine fréquentiel quel que soit le système d'émission DMT ou MB-DFT-S-DMT a également été étudié. Une méthode d'estimation de canal originale basée sur l'utilisation d'une séquence pseudo aléatoires a aussi été validée théoriquement et par expérience.

Plusieurs transmissions réelles validant les aspects algorithmiques ont permis d'obtenir des débits supérieurs à 1.5 Gb/s sur des POF de 50 m, soit des débits supérieurs de 50% aux résultats obtenus dans l'état de l'art.

Il est intéressant de noter que la méthodologie appliquée lors de ces travaux et la plupart des algorithmes proposés peuvent être utilisés pour d'autres types de fibres et de composants.

This thesis deals with the optimization of multicarrier transmissions over polymer optical fiber (POF). Compared to traditional copper cables or silica fibers based solutions, POF is easier for installation. However, the POF transmission bandwidth is limited due to intermodal dispersion. The DMT (discrete multi-tone), used for ADSL (asymmetric digital subscriber line), is of growing interest for the transmissions over fiber to make the best use of bandwidth. Employing low-cost optoelectronics components, the SI-POF (step-index POF) offers an economic solution for indoor networking.

This thesis aims at optimizing the parameters of a multi-carrier transmission over POF using a RCLED (resonant cavity light emitting diode) as light source and a silicon photodiode at the reception. The channel response and the RCLED static and dynamic transfer functions are characterized. The SI-POF transmission systems are modeled by using a low-pass Gaussian filter for the channel and additionally combined with a RCLED non-linearity model and the effective number of bits in the converters. All these theoretical results are validated in the experimental systems.

From the measurements, the theoretical calculations of POF channel capacity are investigated for SI-POF with different lengths. A new bit-loading technique, based on the practical performance approximation, has been proposed and extended to systems with channel coding. This technique outperforms the classical bit-loading techniques without requiring the allocation of dedicated power to each subcarrier.

On the other hand, a new modulation scheme named as MB-DFT-S DMT (multi-band discrete Fourier transform spread DMT), based on a division of the whole band into sub-bands with SC-OFDM (single carrier orthogonal frequency-division multiplexing), has been proposed. This system with a lower PAPR (peak to average power ratio) than the classical DMT systems allows an increase of the transmit power. However, the performance gain of the power enhancement in the practical systems is greater than degradations due to the increased non-linearity of the RCLED. In addition, a frequency domain compensation technique concerning RCLED non-linearity mitigations is proposed and studied for the DMT systems. Moreover, a channel estimation method using a pseudo noise sequence has also been experimentally and theoretically investigated for the DMT transmission over POF. These techniques can also be used for the proposed MB-DFT-S DMT systems.

Finally, several real transmissions have been experimented in order to validate the proposed algorithms. A transmission bit rate of 1.5 Gbps over 50 m SI-POF has been achieved, which is 50% higher than the obtained results in the state-of-the-art.

It is interesting to note that the methodology used in this work and most of the proposed algorithms can also be used for other types of fibers and components.