

Simulation d'une liaison numérique de communication optique longue portée à haut débit

Stéphane Côté, étudiant 2^e cycle

Dr Paul Fortier, directeur de recherche

Abstract: Expensive equipment and considerable resources can be involved in experimental testing of optical communication systems. Performance evaluation of digital lightwave links by simulation is however most flexible and cost effective. A semi-analytical approach is implemented as an attempt to avoid the inaccuracies of a purely analytical study, while using computer simulations to derive estimates of statistical distributions that are not analytically tractable. The purpose of this study is to efficiently evaluate the BER performance of a single mode, intensity modulated/direct detected (IM/DD) lightwave communication link.

Résumé: Pour l'évaluation efficace des performances d'un lien numérique de communication optique, une approche semi-analytique de simulation d'un lien optique à intensité modulée/détection directe est proposée comme palliatif à l'expérimentation directe, souvent onéreuse. Les modèles utilisés représentent un compromis efficace entre les approximations radicales d'une approche purement analytique et la lenteur d'exécution d'une simulation entièrement numérique d'un lien optique, en vue de l'évaluation d'un taux d'erreur binaire faible (10^{-12}).

En raison de sa flexibilité et de son faible coût, l'étude simulée d'un système de communication est souvent préférée à l'expérimentation directe. Sur ces considérations se fonde le schéma de modélisation d'un lien numérique de communication optique à intensité modulée/détection directe. L'étude est axée sur une approche semi-analytique, permettant la simulation numérique de paramètres dont la complexité est réfractaire à une analyse purement théorique [1], tout en évitant les approximations réductrices que procurent un formalisme classique.

Les phénomènes physiques associés à une source optique cohérente sont d'abord simulés par un modèle reproduisant la réponse d'une diode laser à semiconducteur monomode modulée à haut débit selon un format RZ ou NRZ. Un système d'équations différentielles détermine la dynamique physique interne de la région active de la diode laser. Ce modèle inclut un facteur non-linéaire de suppression du gain d'émission stimulée dans la cavité laser. Les évolutions temporelles de l'intensité modulée et de l'excursion en fréquence de la porteuse optique d'une

diode laser sont ainsi déterminées à partir de l'intégration de cette paire d'équations (figure 1a, 1b) [2].

La réponse d'une fibre monomode à ce train binaire d'impulsions lumineuses se révèle non-linéaire en terme d'intensité optique. Afin d'opérer une convolution avec le train binaire modulé par la diode laser, le canal optique de la fibre est plutôt déterminé en fonction de l'amplitude du champ électromagnétique [3]. En bande de base, la fonction de transfert $H(f, z)$ correspondante considère les effets de dispersion et d'atténuation, dont les coefficients respectifs D et γ sont supposés constants sur la largeur spectrale de la porteuse optique de longueur d'onde λ .

$$H(f, z) = e^{-\frac{\gamma z}{2} + j\frac{\pi D \lambda^2 f^2 z}{c_o}} \quad (1)$$

Le résultat de la convolution contribue à la détermination de l'intensité optique de la trame binaire transmise dans une fibre monomode de longueur z .

En prévision des systèmes multiplexés en longueurs d'onde, l'utilisation d'amplificateurs à fibre dopés à l'erbium favorise la répartition des futures porteuses optiques autour d'une bande spectrale particulièrement vulnérable à la dispersion. À ce titre, l'éventuelle compensation optique de ce phénomène fait également l'objet de modélisations, par la détermination des réponses en fréquence associées à des réseaux à gradient d'indice [4] et à des cavités optiques résonnantes, lesquels permettent une égalisation optique lorsqu'insérés dans le lien.

Les modèles ayant trait aux dispositifs de réception concernent la caractérisation statistique des processus physiques liés à la photodétection et à l'électronique de réception. Une photodiode de type p-i-n (positive-intrinsèque-négative) effectue une conversion intensité optique/amplitude de courant conforme à un processus de Poisson. Lorsqu'une photodiode avalanche est utilisée, ce bruit impulsionnel est substitué par un bruit multiplicatif responsable d'un gain de courant (figure 1c). L'utilisation de concepts reliés à l'indépendance stochastique amène le développement d'une nouvelle approche numériquement efficace fondée sur les statistiques exactes [5] de ce gain avalanche, procurant une génération rapide du bruit multiplicatif.

La modélisation de l'électronique de réception, considérée comme un procédé linéaire, consiste ensuite en un filtrage d'égalisation appliqué au courant généré par la photodiode. Un interférent gaussien associé au bruit thermique des composantes électroniques est ensuite ajouté analytiquement au signal reçu, en aval des autres sources de dégradations déterministes et statistiques précédemment simulées.

Cette alternative à l'injection directe d'échantillons de bruit gaussien dans la simulation permet un calcul relativement rapide [1] du taux d'erreur binaire du lien optique simulé, par un moyennage d'ensemble des évaluations de la fonction d'erreur gaussienne à chaque bit reçu. Une appréciation globale des performances du lien simulé peut également être obtenue par un diagramme de l'oeil du signal égalisé à la réception (figure 1d).

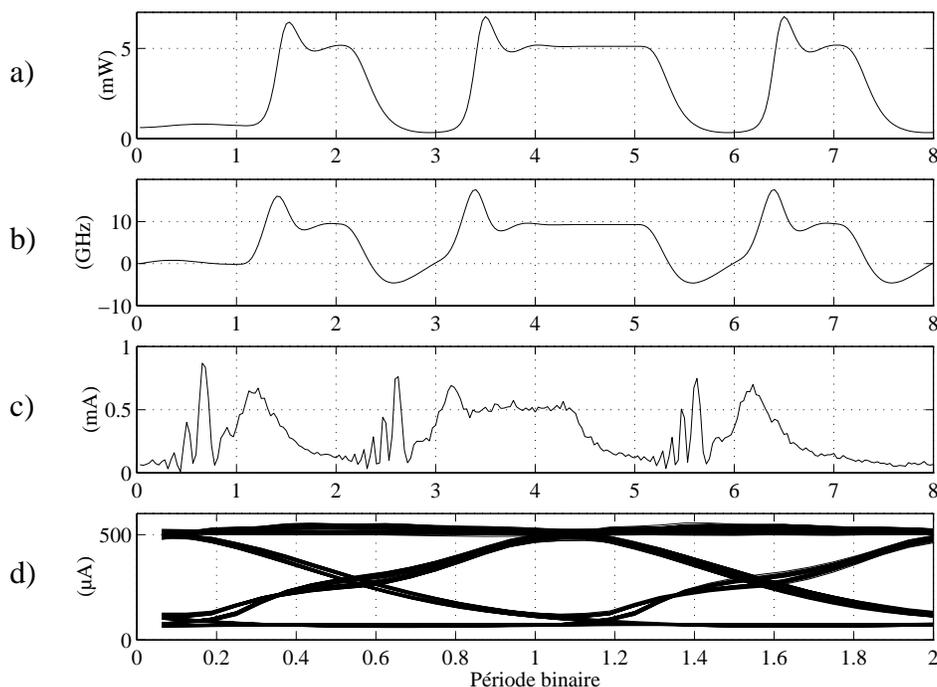


Figure 1 Trains binaires NRZ modulés à 2.5 Gb/s: a) intensité optique de sortie d'une diode laser; b) variation de la fréquence d'émission; c) courant résultant d'une photodiode à avalanche, de gain 10, après 100 km de fibre; d) simulation du diagramme de l'oeil du lien considéré: signal obtenu après égalisation.

Références:

- [1] M. Jeruchim, «Techniques for estimating bit error rate in the simulation of digital communication systems», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. SAC-2, pp. 153-170, Jan. 1984.
- [2] P. Corvini, T. Koch, «Computer Simulation of High-Bit-Rate Optical Fiber Transmission Using Single-Mode Frequency Lasers», *Journal of Lightwave Technology*, vol. LT-15, pp. 1591-1595, Nov. 1987.
- [3] B. E. A. Saleh, M. I. Irshid, «Coherence and Intersymbol Interference in Digital Fiber Optic Communication Systems», *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. QE-18, pp. 944-951, Juin 1982..
- [4] J. Martin, S. Côté, J.-F. Cliche, S. Thibault, J. Lauzon, M. Têtu, P. Fortier, M. Duguay, «Numerical Analysis of coupling of linearly chirped Bragg gratings for dispersion compensation», *CLEO-95*, mai 1995.
- [5] R. J. McIntyre, «The Distribution of Uniformly Multiplying Avalanche Photodiodes: Theory», *IEEE Transactions on Electronic Devices*, vol. ED-19, pp. 703-713, Juin 1972.