

Analyse de la performance d'un système OFDM égalisé par les simulations Monte Carlo rapides

Ammari Mohamed Lessaad, étudiant 2^e cycle

Paul Fortier, directeur de recherche

Huu Tuê Huynh, codirecteur de recherche

Résumé: On s'intéresse dans ce travail à évaluer la performance d'un système de transmission multiporteuse qui utilise des égaliseurs locaux. Dans ce cas particulier, la réponse fréquentielle du canal, calculée à chaque fréquence porteuse, est corrigée en utilisant une suite de symboles d'entraînement. La performance globale du système ainsi égalisé est quantifiée ensuite par la technique de Monte Carlo rapide (Importance Sampling). Par cette technique, un BER de l'ordre de 10^{-5} nécessite seulement 1000 simulations, ce qui représente un gain exceptionnel en temps de calcul.

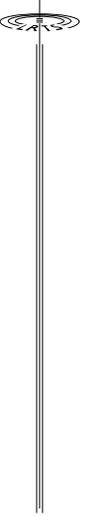
Abstract: This work analyses the performance of an OFDM system using frequency equalization. The equalizers, using a learning sequence, estimate the frequency response of the channel at each sub-carrier. The global performance of the system is then analyzed using the Importance Sampling technique. With this fast Monte Carlo method, a BER of order 10^{-5} only requires 1000 simulations. The gain in simulation time is really exceptional.

Les systèmes de transmission multiporteuse connus sous le nom "Orthogonal Frequency Division Multiplexing" (OFDM) reposent sur le principe d'orthogonalité des filtres de modulation. La modulation d'un bloc de symboles est réalisée par une Transformation de Fourier Discrète Inverse (TFDI).

Soit I_n la séquence de symboles à émettre à la cadence T_s . Ces symboles appartiennent, généralement, à un alphabet fini issu d'une constellation de modulation donnée. Le flot initial de données est réparti sur N_u flots parallèles, chaque flot étant émis sur une des N_u fréquences porteuses orthogonales entre elles et modulées à bas débit.

Cette technique a l'avantage de transformer un canal sélectif en fréquence en N_u sous-canaux non sélectifs. Etant donné leur longues durées, les symboles OFDM sont assez résistants aux ISI causées par les phénomènes de propagation à trajets multiples. Toutefois, en considérant chaque sous-porteuse à part, on est face à des phénomènes d'atténuation d'amplitude et de rotation de phase. Ainsi, si nous n'utilisons pas un codage différentiel, nous serons obligés d'égaliser le canal.

En supposant que la bande de fréquence du canal entier est largement supérieure à celles des différentes sous-porteuses (N_u élevée), les fonctions de transfert peuvent être considérées



constantes à l'intérieur de chaque sous-porteuse. Le problème d'égalisation sera donc réduit à une simple multiplication du signal reçu par un coefficient C_i . L'égalisation prend alors la forme d'un banc de multiplieurs complexes à la sortie du DFT de réception. On parle dans ce cas d'égalisation locale, du fait que chaque sous-porteuse a son propre égaliseur. Le signal égalisé est donné par:

$$\hat{y}_i = y_i C_i \quad (1)$$

Le choix évident de la constante C_i est l'inverse de la valeur de la fonction de transfert $H(\omega)$ dans la bande de fréquences de la $i^{\text{ème}}$ porteuse que l'on suppose constante (si le nombre de porteuses est élevé) et on le note par H_i . On écrit alors:

$$C_i = \frac{1}{H_i} \quad (2)$$

Ce résultat est obtenu par l'optimisation basée sur le critère ZF (Zero Forcing). Dans ce cas, on remédie au problème d'interférence entre symboles sans considération du bruit du canal.

En tenant compte du bruit, une autre optimisation basée sur le MMSE (Minimum Mean Squared Error) donne une autre expression des coefficients C_i , soit:

$$C_i = \frac{H_i^*}{|H_i|^2 + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_0^2}} \quad (3)$$

En vu de calculer les coefficients d'égalisation, l'estimation de la fonction de transfert du canal ainsi que ses valeurs pour chaque fréquence porteuse est nécessaire. Pour ce faire, on émet une séquence de données S_i (où $i = 0, 1, \dots, N_{u-1}$) connue par le récepteur. Comme les valeurs et les positions de trames S_i sont connues, on peut alors les extraire à la réception pour estimer ensuite les valeurs C_i .

Une estimation possible des valeurs de la fonction de transfert pour chaque sous porteuse est calculée par la division des valeurs reçues par les valeurs de la séquence d'entraînement, d'où:

$$\tilde{C}_i = \frac{y_i}{S_i} \quad (4)$$

L'entraînement du système peut se faire avec plusieurs trames. Dans ce cas l'estimateur de C_i sera donné par:

$$\tilde{C}_i = \frac{1}{v} \sum_{k=1}^v \tilde{C}_i^k \quad (5)$$

En introduisant un intervalle de garde de durée supérieure à celle de l'étendue de la réponse impersonnelle du canal, on peut absorber l'effet des trajets multiples. En plus si on suppose que le nombre de porteuses est élevé, on peut alors écrire l'état de la $i^{\text{ème}}$ porteuse comme suit:

$$y_i = h_i x_i + n_i \quad (6)$$

Par conséquent, on aura un symbole OFDM libre des ISI et on maintient la condition d'orthogonalité des sous-porteuses. De ce fait, on peut appliquer la méthode de Monte Carlo à échantillonnage pondéré, en supposant que le canal est sans mémoire.

Notre travail consiste essentiellement à l'évaluation des taux d'erreurs binaires TEB (bit Error Rate) ou encore les taux d'erreurs par symbole TES (Symbol Error Rate) et ce, pour différents types de modulation et milieux de transmission. Pour quantifier la performance du système égalisé nous avons simulé ce dernier par la technique de Monte Carlo à échantillonnage pondéré. Cette technique de simulation rapide permet d'estimer des faibles taux d'erreurs avec un nombre limité d'échantillons de simulation. L'idée de base de la méthode de Monte Carlo à échantillonnage pondéré est d'amplifier artificiellement la génération des événements importants (les erreurs) et ce, par l'utilisation de bruits à statistiques avec biais, tout en tenant compte de ceci lors du décompte des erreurs.

A titre d'exemple, nous notons que par cette technique, un BER de l'ordre de 10^{-6} nécessite seulement 1000 simulations, ce qui représente un gain exceptionnel en temps de calcul.

Références

- [1] L. J. Cimini, "Analysis and Simulation of a Digital Mobile Channel using Orthogonal Frequency Division Multiplexing", IEEE Transactions on Communications, vol. COM-33, no 7, juillet 1985, pp. 665-675.
- [2] M. C. Jeruchim, P. Balaban, K. S. Shanmugan, "Simulation of Communication Systems", Plenum Publishing Co., New York, 1992.
- [3] M. Bossert, A. Donder, "Investigation of coded modulation for cellular radio and indoor communication systems", Reserach Report, DFG Project, University of Ulm, juillet 1995.
- [4] J. G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, New York 1988.

