



Détection Mono-Utilisateur dans le Système CDMA Optique à Séquence Directe

Kada BITEUR

*Département Sciences et Technologie, Faculté des sciences et de la technologie
Université de Ghardaïa, B.P 455 Alnomirat – le route de l'aéroport / Ghardaïa (47000), Algérie
biteur99@gmail.com*

Résumé

La technique CDMA (Code Division Multiple Access ou Accès Multiple par Répartition de Codes) est largement utilisée dans le domaine radiofréquence (3G) et suscite un intérêt croissant pour tirer parti de la largeur de bande offerte par la fibre optique. L'étude présentée dans ce travail est une étude exploratoire sur l'application du CDMA à séquence directe aux systèmes de transmission optique. Les performances d'un codage temporel orthogonal optique (OOC) sont évaluées pour un modèle de récepteur conventionnel avec et sans limiteur optique (RC et RC-LO en fonction de la limitation due à la technique d'accès multiple : l'Interférence d'Accès Multiple (IAM). Différentes simulations ont été effectuées, entre autres, nous citons le taux d'erreur binaire (TEB) en fonction du seuil de détection pour le récepteur conventionnel avec limiteur optique (RC - LO). Les résultats de simulation présentés dans ce document ont été obtenus en programmant sous MATLAB.

Mots Clés — Communications Optiques, CDMA Optique, Codes Optiques (OOC), Récepteur Conventionnel (RC).

1 INTRODUCTION

L'OCDMA est basé sur les mêmes concepts de base que le CDMA radiofréquence [Lorenz, 2001] : à chaque utilisateur transmettant des données à travers le canal (ici fibre optique) est alloué une séquence signature ou code qui permet d'identifier le récepteur destinataire (Figure 1)

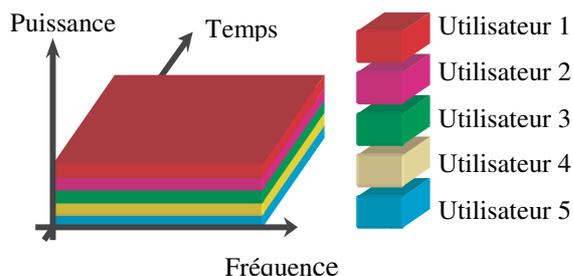


Figure 1. La technique d'accès multiple CDMA.

2 DESCRIPTION OCDMA TEMPOREL

Le système OCDMA étudié est à séquence directe (DS-OCDMA), non-cohérent et synchrone [Prucnal, 2006], le temps bit des données à transmettre est partagé en un certain nombre d'intervalles appelés « intervalles chips » par multiplication directe des données avec le code (Figure 2): c'est la technique CDMA à séquence directe (DS-CDMA). Le nombre de ces « intervalles chips » correspond à la longueur de la séquence de code OCDMA. Le nombre des impulsions ou « chips » d'amplitude unitaire dans la séquence de code, correspond au « poids du code ».

La répartition de ces impulsions dans les « intervalles chips » est liée à la famille de code utilisée.

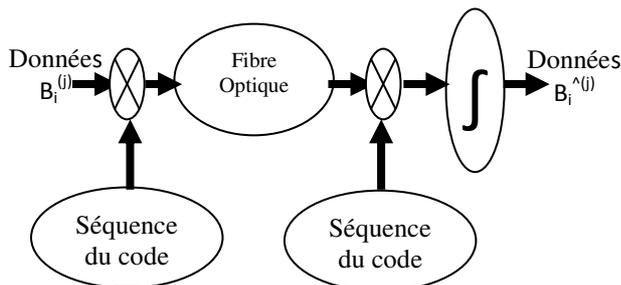


Figure 2. Synoptique d'un système DS-OCDMA.

3 LES CODES TEMPORELS UNIPOLAIRES

Avec les codes unipolaires, on ne peut pas avoir une orthogonalité stricte. Ces codes doivent satisfaire les propriétés de « quasi-orthogonalité » suivantes [Salehi, 1989b]:

Soit deux séquences de code $C_k(t)$ et $C_p(t)$ de deux utilisateurs différents :

A/ La condition d'auto-corrélation des codes :

$$Z_{C_k, C_k}(l) = \sum_{j=0}^{L-1} C_j^{(k)} C_{j+1}^{(k)} = \begin{cases} = W & \text{pour } l=0 \\ \leq \lambda_a & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (1)$$

Avec :

- $C_j^{(K)}$ est le $j^{\text{ème}}$ élément appelé "chip" du code du $k^{\text{ème}}$ utilisateur.
- W est le poids de la séquence de code $\{C_j^{(K)}\}$
- La séquence du code $\{C_j^{(K)}\}$, pour j de 0 à $L-1$, est une séquence périodique, de période L .
- L est la longueur du code.
- λ_a est la valeur d'auto-corrélation minimale des codes.

B/ La condition d'inter-corrélation :

$$Z_{C_k, C_p}(l) = \sum_{j=0}^{L-1} C_j^{(k)} C_{j+1}^{(p)} \leq \lambda_c \quad \forall l \quad (2)$$

Avec :

- λ_c est la valeur maximale d'inter-corrélation des codes.
- L est la longueur du code.
- $C_j^{(p)}$ est le $j^{\text{ème}}$ élément appelé "chip" du code du $p^{\text{ème}}$ utilisateur.

Au minimum les constantes λ_a et λ_c peuvent être égales à 1.

De nombreux codes pseudo-orthogonaux unipolaires et leur application au CDMA Optique ont été étudiés depuis 1988 [Azizoglu, 1992]. Parmi ces codes on trouve les Codes Optiques Orthogonaux (OOC) [Jamshidi, 2005].

3.1 Les Codes Optiques Orthogonaux (OOC)

Les codes OOC ont été développés par J.A.Salehi en 1989 [Salehi, 1989a]. Ces codes sont caractérisés par quatre paramètres ($L, W, \lambda_a, \lambda_c$) :

- L est la longueur de la séquence
- W est le poids du code, qui représente le nombre de chips à « 1 »
- λ_a et λ_c sont respectivement les contraintes d'auto et d'inter-corrélation.

Pour des valeurs d'auto et d'inter-corrélation $\lambda_a = \lambda_c = \lambda$, le nombre d'utilisateurs N est limité par la borne dite de Johnson, donnée par la relation [Johnson, 1962] :

$$NLW\lambda_a\lambda_c \leq \left\lfloor \frac{1}{W} \left\lfloor \frac{L-1}{W-1} \right\rfloor \left\lfloor \frac{L-2}{W-2} \right\rfloor \dots \left\lfloor \frac{L-\lambda}{W-\lambda} \right\rfloor \right\rfloor \quad (3)$$

Le symbole $\lfloor X \rfloor$ représente la valeur entière inférieure d'une valeur X .

Dans le cas où λ_a et λ_c minimales ($\lambda_a = \lambda_c = 1$), J.A.Salehi [Salehi, 1989a] a démontré que le nombre maximal des séquences de code est :

$$N(L, W, 1, 1) \leq \left\lfloor \frac{L-1}{W(W-1)} \right\rfloor \quad (4)$$

Pour notre étude, on va utiliser les codes OOC tel que $\lambda_a = \lambda_c = 1$.

Plusieurs méthodes de génération de codes OOC peuvent être mises en œuvre. Au cours de cette étude, nous avons utilisé la méthode "BIBD" (Balanced Incomplete Block Design) [Chung, 1990].

On considère le code (97,4,1,1) de longueurs $L=97$, de poids $W=4$, tels que $\lambda_a = \lambda_c = 1$.

D'après (4), $N=8$ (nombre d'utilisateurs).

On a généré sous MATLAB, d'après la méthode BIBD, des séquences unipolaires constituées de 97 chips dont 4 sont à l'état 1.

4 ANALYSE THEORIQUE D'UN SYSTEME DS-OCDMA SYNCHRONE AVEC DETECTION MONO-UTILISATEURS

On suppose que les performances sont évaluées, dans le cas sans bruit, en fonction de la limitation due à l'interférence d'accès multiple (IAM) entre utilisateurs. Pour calculer la probabilité d'erreur on suppose :

- que l'utilisateur désiré est l'utilisateur n°1.
- que la transmission des données bi est équiprobable.
- que tous les utilisateurs ont la même puissance en réception.

4.1 Probabilité d'erreur du Récepteur Conventionnel avec et sans limiteur optique (RC, RC-LO) avec des codes OOC

Pour un récepteur conventionnel (RC) [Saad, 2005], le récepteur destinataire dispose de la séquence signature pour récupérer les données par corrélation. Les données sont ensuite comparées au seuil de décision S d'un comparateur.

Dans le cas d'un système synchrone pour un RC, la probabilité d'erreur est donnée par (5) [Saad, 2005] :

$$P_{e_RC} = \frac{1}{2} \sum_{i=S}^{N-1} C_{N-1}^i \left(\frac{W^2}{2L} \right)^i \left(1 - \frac{W^2}{2L} \right)^{N-1-i} \quad (5)$$

Avec :

- N : Nombre d'Utilisateurs.
- S : Seuil de décision.
- $\frac{W^2}{2L}$: Probabilité d'avoir un chip unité entre deux codes OOC.
- L est la longueur de la séquence du code OOC.
- W est le poids du code, qui représente le nombre de chips à « 1 ».

Pour diminuer l'importance de l'IAM, on peut utiliser un Limiteur Optique (LO) comme démontré dans les travaux de Salhi [Azizoglu, 1992], la probabilité d'erreur est donnée par (6) [Saad, 2005] :

$$P_{e_RC-LO} = \frac{1}{2} C_W^S \prod_{i=0}^{S-1} \left(1 - q^{N-1-i} \right) \quad (6)$$

Avec :

- N : Nombre d'Utilisateurs.
- S : Seuil de décision.
- $q = \left(1 - \frac{W}{2L} \right)$.
- L est la longueur de la séquence du code OOC.
- W est le poids du code, qui représente le nombre de chips à « 1 ».

4.1.1 Les performances d'un récepteur RC et RC-LO avec des codes OOC

Une étude paramétrique comparative entre récepteur conventionnel, avec et sans limiteur optique, en fonction de la longueur du code, du poids de code et du nombre d'utilisateurs, a été effectuée.

On a considéré le code OOC (97,4,1,1), avec un nombre d'utilisateurs N=8.

On a pu vérifier que le choix optimal du seuil de détection S est égal à W (Figure 3).

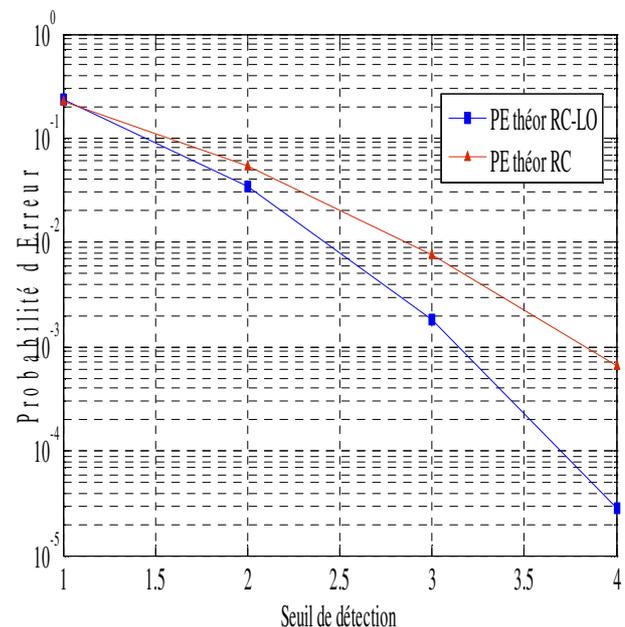


Figure 3. La probabilité d'erreur du RC et RC-LO en fonction en fonction du seuil S pour le code OOC (97,4,1,1), N=8.

On a fixé le seuil optimal S à W, on remarque que les deux probabilités d'erreurs augmentent avec l'augmentation de N (Figure 4).

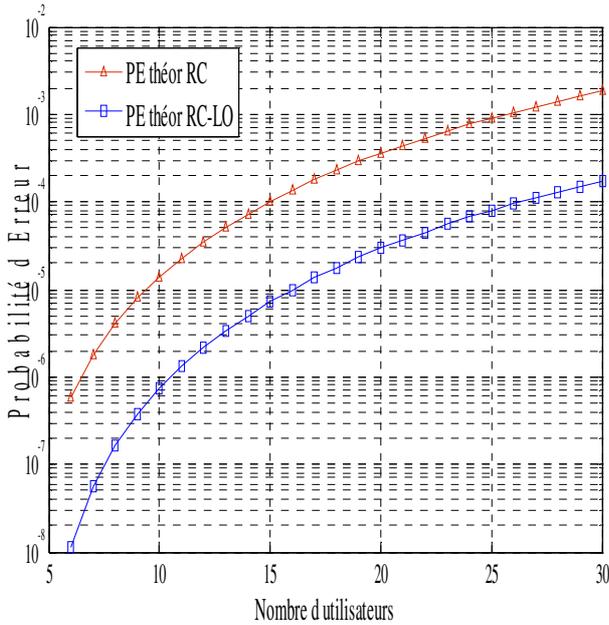


Figure 4. La probabilité d'erreur du RC et du RC-LO en fonction de N pour OOC (97,4,1,1).

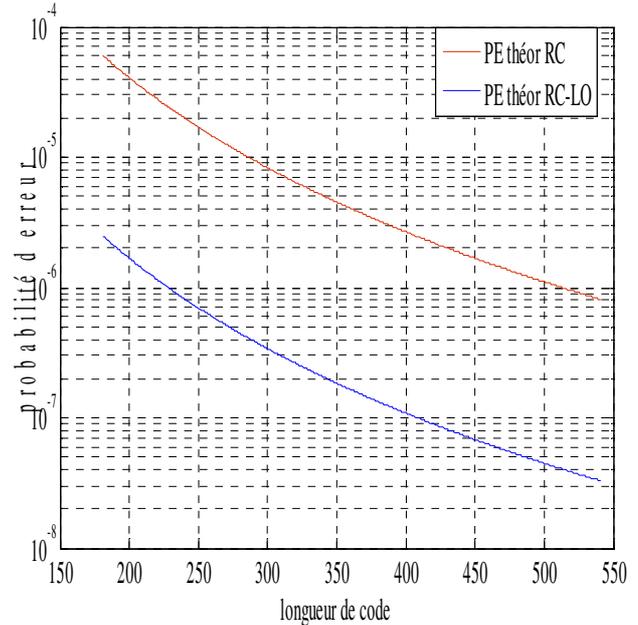


Figure 6. La probabilité d'erreur du RC et du RC-LO en fonction de L pour le code (L,4,1,1), N=8.

Lorsque on fixe le seuil S à 4, les performances de deux récepteurs se dégradent, par contre lorsque le poids W augmente sachant que $S=W$, les deux probabilités d'erreur diminuent (Figure 5).

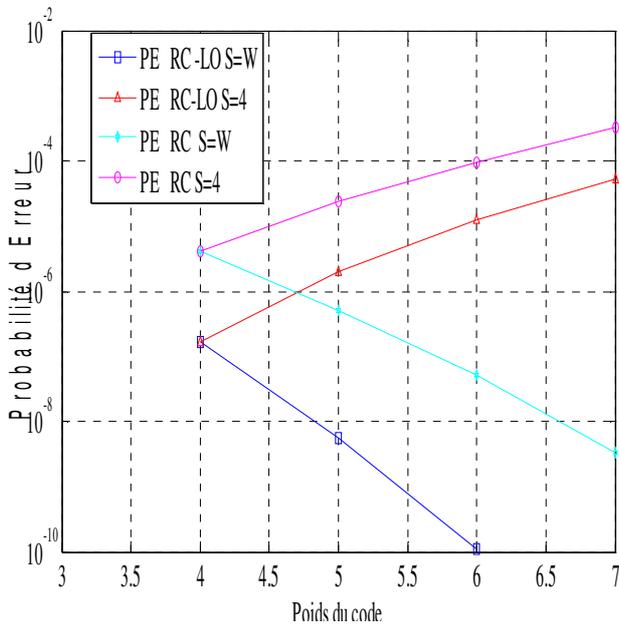


Figure 5. La probabilité d'erreur du RC et du RC-LO en fonction de W pour le code (97,4,1,1), N=8.

Les probabilités d'erreur diminuent avec l'augmentation de la longueur L (Figure 6).

D'après les résultats théoriques, on constate une nette amélioration des performances avec le récepteur (RC-LO) par rapport au récepteur RC. L'ajout du limiteur Optique (LO) qui a pour effet de limiter l'IAM améliore la Probabilité d'Erreur.

5 VALIDATION

Pour valider l'étude théorique et optimiser le système par l'analyse de l'impact des divers paramètres sur les performances, nous avons vérifié par la simulation que l'expression (6) est correcte, pour cela nous avons considéré le code OOC (97,4,1,1) et le récepteur RC-LO.

Un programme (sous MATAB) a été réalisé de telle sorte que :

- l'émission des données binaires des N utilisateurs est aléatoire et équiprobable. les données sont étalées par des codes unipolaires OOC (97,4,1,1).
- Chaque séquence est décalée aléatoirement de manière à rendre aléatoire l'inter-corrélation entre les codes, c'est-à-dire Interférence d'Accès Multiple (IAM).
- L'émission est synchronisée en temps chip et en temps bit.
- La transmission des données des utilisateurs sommée est idéale.

• La réception des données d'un utilisateur s'effectue par un limiteur d'amplitude à 1 suivi de la méthode conventionnelle.

Nous vérifions tout d'abord par simulation et avec la formule théorique, que le choix optimal du seuil de détection S est égal à W .

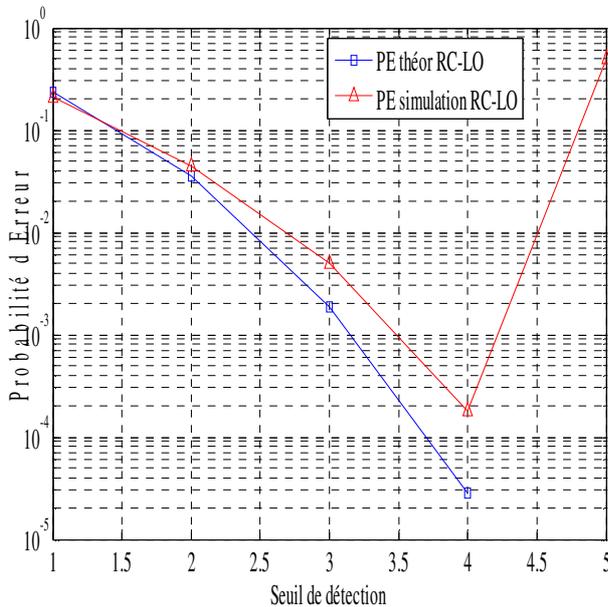


Figure 7. La probabilité d'erreur théorique et simulée correspondant au code OOC (97,4,1,1) avec $N=8$ pour le récepteur RC-LO.

Nous pouvons constater sur la figure 7 que le résultat de simulation valide l'expression théorique de la probabilité d'erreur pour le récepteur conventionnel avec limiteur optique (RC LO).

6 CONCLUSION

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la technique d'accès multiple par répartition de code à séquence directe aux systèmes de transmission optique (DS-OCDMA) pour la famille de code appelée : les Codes Optiques Orthogonaux (OOC).

Nous avons ensuite effectué l'analyse des performances des codes OOC pour deux structures de réception : le Récepteur Conventionnel (RC), et le Récepteur Conventionnel avec Limiteur Optique (RC-LO), nous avons développé l'étude théorique des probabilités d'erreur.

Une simulation numérique d'une chaîne DS-OCDMA a été développée pour le récepteur conventionnel avec limiteur optique (RC-LO) dans le cas d'un code OOC (97,4,1,1) pour 8 utilisateurs actifs. Les résultats obtenus permettent de valider les probabilités d'erreurs théoriques des récepteurs conventionnels avec et sans limiteur optique (RC, RC-LO).

Références

- [Azizoglu, 1992] Azizoglu, M., Salehi, J.A., Li, Y. : "Optical CDMA via temporal codes". IEEE Transactions on Communications, July 1992, 40(7):1162–1170.
- [Chung, 1990] Chung, H., Kumar, P. : "Optical orthogonal codes - new bounds and an optimal construction". IEEE Transactions on Information theory, July 1990, vol. 36, pp. 866-873.
- [Jamshidi, 2005] Jamshidi, K., Abtahi, M. : "Performance analysis of various optical CDMA systems using OOC's with correlation bounded by two". Proc. of International Symposium on Telecommunications (IST), Sep. 2005, pages 115–120.
- [Johnson, 1962] Johnson, S.M. : "A new upper bound for error-correcting codes". IRE Transactions on Information Theory, April 1962, vol IT-8, pp 203-207.
- [Lorenz, 2001] Lorenz, P. : "Télécommunications : architectures des réseaux et télécommunications, chap.1 : Support et modèle de communication", Paris : Ellipses, (2001).
- [Morelle, 2008] Morelle, M. : "Codage en 2 Dimensions pour les systèmes de communications Optiques CDMA(OCDMA) – Application aux transmissions multimédia". Thèse de Doctorat, Université de Limoges, (Septembre 2008).
- [Prucnal, 2006] Prucnal, P.R. : "Optical Code Division Multiple Access : Fundamentals and Applications". CRC; Har/Cdr edition, ISBN : 084933683X (2006).
- [Saad, 2005] Saad, N. : "Contribution à l'étude de l'application de la technique CDMA aux systèmes de transmission optique". Thèse de Doctorat, Université de Limoges, (Mai 2005).

- [Salehi, 1989a] Salehi, J.A., Brackett, C.A. :
“Code division multiple-access techniques in optical fiber networks-part I : Fundamental principles”. IEEE Transactions on Communications, Aug. 1989, 8(37) :824– 833.
- [Salehi, 1989b] Salehi, J. A. :“ Code division multiple-access techniques in optical fiber networks - part I: Fundamental principles and part II: Systems performance analysis”. IEEE Transactions on Communications, Août 1989, vol. 37, pp. 824-842.