

Mise en œuvre d'un outil d'évaluation et de comparaison des codes d'étalement utilisés dans les réseaux CDMA avec le logiciel Matlab / Simulink

Matalatala M^{1*}, Lukomba L.¹

Abstract

Design of a Matlab/Simulink-based tool for CDMA spreading codes comparison

Published online:
27 March, 2014

Keywords:

CDMA, spread-spectrum codes, scrambling, correlation, orthogonality, multiple access

This article presents the different sides of Code Division Multiple Access (CDMA), which is the spreading of power over a wide frequency band of a channel, allowing a strong resistance to selective fadings in frequency and giving to the transmitted signal, a form of a noise making it difficult to be detected by non-concerned receivers' devices. So, different types of spread-spectrum codes are used to achieve this. The use of one spread-spectrum code or another depends upon what is expected: security, number of simultaneous transmitters over a single channel and, better performance (BER: bits error rate and correlation). It, then, becomes important to know exactly the behaviors of a system before choosing its spread-spectrum code that can allow to perform a better channel coding. Description of the principal spread-spectrum codes used in CDMA has been given (Walsh-Hadamard, PN, Gold and Kasami) and a Matlab/Simulink based tool has been designed to help compare the performances of these spread-spectrum codes for a given application and making a good choice for that application.

¹ Département de Génie Electrique et Informatique, Faculté Polytechnique, Université de Kinshasa, Kinshasa, R. D. Congo

* To whom correspondence should be address. E-mail address: mmatalatala@gmail.com

INTRODUCTION

Tout système de communication numérique de transport de la voix, de l'image ou de quelques données sous forme de bits peut se résumer par la **Figure 1** qui montre les différents blocs constituant la chaîne de transmission numérique. La source fournit de l'information sous forme de symboles. Ce système relie par l'intermédiaire d'un canal une source de données à un utilisateur. Le canal peut être un câble coaxial, une liaison radioélectrique, une fibre optique ou un support d'enregistrement comme la bande magnétique [Abu-Rgheff, 2007].

Le schéma de principe d'une chaîne de transmission numérique, représenté sur la **Figure 1**, peut se décomposer en trois blocs: l'émetteur, le milieu de transmission, et le récepteur.

Pour transmettre l'information, l'émetteur a pour fonction d'associer au message numérique une grandeur physique en veillant à adapter celle-ci au milieu de transmission. Le récepteur réalise l'opération inverse en reconstituant le message émis par la source à partir du signal reçu. Le milieu de transmission représente le lien physique entre l'émetteur et le récepteur [Zakria et al., 2002].

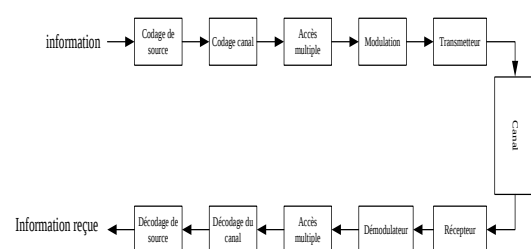


Figure 1. Chaîne de Transmission numérique

Afin d'obtenir une utilisation efficace des ressources disponibles, les utilisateurs des systèmes de communications, de plus en plus nombreux, sont amenés à cohabiter. L'« accès multiple », consiste à examiner comment organiser l'accès d'un nombre important d'utilisateurs à une ressource commune. Pour cela, il existe principalement trois techniques d'accès multiple :

Accès Multiple par Répartition en Fréquence (AMRF ou FDMA pour Frequency Division Multiple Access) : consiste à partager la bande de fréquence du support de transmission en différents canaux caractérisés par des fréquences différentes. Chaque utilisateur se voit alors attribuer un canal c'est à dire une fréquence sur laquelle il peut émettre en continu sans contrainte temporelle.

Accès Multiple par Répartition en Temps (AMRT ou TDMA pour Time Division Multiple Access) : se base sur la répartition de ressources dans le temps. Chaque utilisateur émet ou transmet dans un intervalle de temps concret dont la périodicité est définie par la durée de la trame.

Accès Multiple par Répartition de Codes (AMRC ou CDMA pour Code Division Multiple Access) : qui se base sur la répartition de ressources par codes. L'utilisateur émet en permanence dans toute la bande en utilisant une technique d'étalement de spectre. Pour que cela soit possible, il faut que les signaux émis par les divers usagers possèdent certaines propriétés permettant de les dissocier. Chaque usager se voit donc affecter, pour la durée de la communication, un code spécifique [Lee, 1998].

CARACTERISATION DES CODES D'ETALEMENT

Les fonctions de corrélations

Une transmission est dite à émission continue lorsque le signal se présente sous la forme d'un flot continu. En revanche, elle est dite non continue lorsque les différents éléments d'un message sont séparés par des silences de durée aléatoire. Selon la nature de la transmission (émission continue ou non), on distingue plusieurs fonctions de corrélations (périodiques ou apériodiques) [Stular et al., 2000]. Les systèmes de communications qui nous intéressent dans cette étude sont supposés être en régime permanent ou continu. Les corrélations apériodiques s'appliquent principalement aux communications non continues et ne nous concernent donc pas.

Lorsque les signaux sont émis en continu, les propriétés des codes d'étalement sont définies par les fonctions de corrélations périodiques.

Soit N_{seq} , séquences X_i de longueur L_c telle que:

$$X_i = [x_{i,0} \ x_{i,1} \dots \ x_{i,k} \dots \ x_{i,L_c-1}]$$

$$\text{et } Y_j = [Y_{j,0} \ Y_{j,1} \dots \ Y_{j,k} \dots \ Y_{j,L_c-1}] \quad (1)$$

Lorsque deux séquences X_i et Y_j sont identiques, cette fonction notée $\mathcal{R}_{XX}$ est alors appelée fonction d'autocorrélation périodique. Ces fonctions sont aussi utilisées pour assurer la synchronisation de systèmes de communications numériques. En effet, lorsque les séquences sont synchronisées, la fonction d'autocorrélation correspondante atteint la valeur maximale de L_c [Figure II].

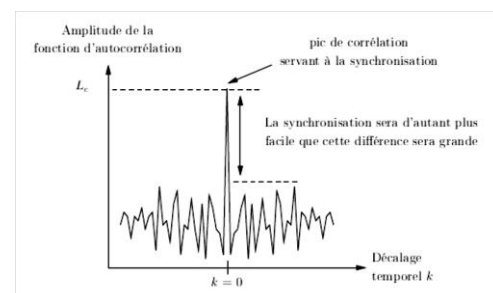


Figure II. Fonction d'autocorrélation.

Deux types de fonctions de corrélations périodiques sont distingués [Kedia, 2012], [Kedia, 2010] : la corrélation périodique paire est obtenue lorsque le code est répété périodiquement en ne changeant pas de signe (celle qui nous intéresse) et celle qui est impaire (changement de signe).

Selon le contexte de la communication, les propriétés idéales des fonctions de corrélations sont différentes. Par exemple; pour un système DS-CDMA [Garg et al., 2011] (Direct Sequence Code Division Multiple Access), les caractéristiques idéales dans le cas d'une liaison synchrone sont beaucoup moins contraignantes que pour une communication asynchrone. Finalement, pour une communication DS-CDMA synchrone, on se soucie seulement des valeurs des fonctions de corrélations périodiques pour $k = 0$. Les propriétés idéales impliquent donc que les codes utilisés soient orthogonaux:

$$\mathcal{R}_{XX}(0) = L_c \forall i \in [1, N_{seq}]$$

$$\text{et} \quad (2)$$

$$\mathcal{R}_{XY}(0) = 0$$

Les Codes utilisés dans les systèmes CDMA

Les fonctions de Walsh-Hadamard

Ces fonctions sont indexées selon le nombre de changements de signe (passages à zéro), qui s'étendent de 0 à $N-1$, et les index peuvent être représentés par un K-uplet (séquence) binaire, où $K = \log_2 N$. Elles sont générées à

partir de la matrice de transformation de Hadamard. Plus exactement, ils correspondent aux lignes ou aux colonnes orthogonales de cette matrice composée de $s \pm 1$. La matrice de transformation de Hadamard de taille $2^n \times 2^n$ satisfait la condition suivante:

$$H_m H_m^T = m \cdot I_m \quad (3)$$

H_m^T est la matrice transposée de la matrice de Hadamard de taille $m \times m$ et I_m est la matrice identité de taille $m \times m$. Ainsi, d'après cette définition, les lignes ou les colonnes sont mutuellement orthogonales [Saito M. et al., 2002].

La matrice de transformation de Hadamard de taille $L_c \times L_c$ peut-être construite récursivement de la manière suivante:

$$\begin{cases} H_1 = +1 \\ H_{L_c} = \begin{bmatrix} H_{L_c/2} & H_{L_c/2} \\ H_{L_c/2} & \overline{H_{L_c/2}} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (4)$$

Les codes OVFS

Les codes orthogonaux dits codes **OVFS** (*Orthogonal Variable Spreading Factor Code*) sont des applications des fonctions de Walsh mais d'ordre variable. Ces codes sont définis par un arbre OVFS où chaque nœud possède 2 fils. Les codes des 2 fils sont issus du code de leur père commun, c'est-à-dire que leur code est composé par le code du père et de son complémentaire. L'arbre des codes OVFS ainsi créé peut être représenté sous la forme de la matrice de Hadamard. Les codes OVFS sont orthogonaux à longueur variable en $2n$ et sont tels que l'orthogonalité mutuelle est conservée [Kavipriya et al., 2013]. Ils peuvent être construits sur une base arborescente comme indiqué sur la Figure III.

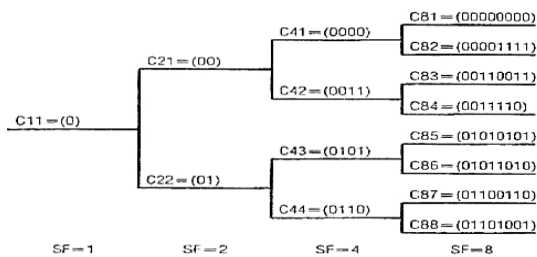


Figure III. Codes OVFS

Les codes à longueur maximale

Comme le montre la Figure IV, les codes à longueur maximale sont générés à l'aide de registres à décalage en réaction linéaire comportant n étages.

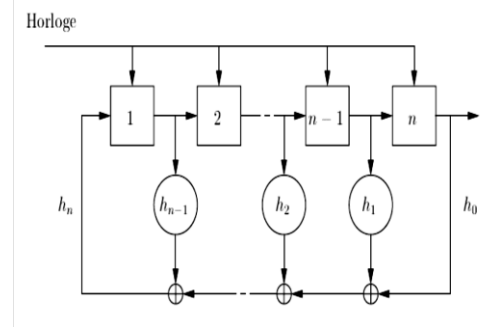


Figure IV. Codes à longueur maximale

Le polynôme $h(x)$ de longueur n caractérisant la séquence à longueur maximale est donné par:

$$h(x) = \sum_{i=0}^n h_i \cdot x^i \quad (5)$$

Avec

$$h_0 = h_n = 1.$$

Une condition nécessaire pour qu'une séquence soit de longueur maximale est que son polynôme caractéristique soit irréductible sur (2) , où $GF(2)$ est le corps de Galois à deux éléments. Une condition suffisante est que celui-ci soit primitif [Hsiao-Hwa C., 2007 ; Lee et al., 1998]. Un polynôme est dit primitif lorsque celui-ci est irréductible [Hsiao-Hwa C., 2007 ; Lee et al., 1998].

La séquence à longueur maximale ainsi obtenue est de longueur $L_c = 2^n - 1$. Les séquences à longueur maximale possèdent une propriété de corrélation intéressante. En effet, leur fonction d'autocorrélation périodique paire ne prend que 2 valeurs L_c et -1 [Youssef et al., 2009]:

$$\mathcal{R}_{XX}(k) = \begin{cases} L_c & \text{pour } k = 0 \\ -1 & \forall k \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Le maximum de la fonction d'intercorrélation périodique paire de 2 séquences binaires de longueur L_c choisies parmi le sous-ensemble de N_{seq} séquences possède une borne inférieure donnée par [Fanajj et al., 2009].

$$\mathcal{R}_{XY} \geq L_c \sqrt{\frac{N_{seq}-1}{N_{seq} \cdot L_c - 1}} \cong \sqrt{L_c} \quad (7)$$

Le nombre total N_{seq} de séquences à longueur maximale obtenues à partir d'un registre à n étages est donné par:

$$N_{seq} = \frac{\Phi(L_c)}{n} \quad (8)$$

où $\Phi(L_c)$ est le nombre d'entiers inférieurs à L_c et premiers avec L_c , ou plus exactement la fonction indicatrice d'Euler encore appelée en anglais « Euler totient function » [Young et al., 2009].

Par ailleurs, nous avons pour $k \neq 0 \bmod(4)$, des séquences à longueur maximale, des séquences dites préférées. Les fonctions d'intercorrélation périodiques paires de ces séquences préférées ne prennent que 3 valeurs [Sundari et al., 2012] :

$$\{-1, -t(n), t(n) - 2\} \quad (9)$$

Où :

$$t(n) = \begin{cases} 1 + 2^{\frac{n+2}{2}} & \text{pour } n \text{ pair} \\ 1 + 2^{\frac{n+1}{2}} & \text{pour } n \text{ impair} \end{cases} \quad (10)$$

Les codes de Gold

Cette famille de codes est construite à partir de deux séquences à longueur maximale préférées M -séquences u et v de longueur $L_c = 2^n - 1$ avec $n \neq 0 \bmod(4)$ et additionnées modulo 2.

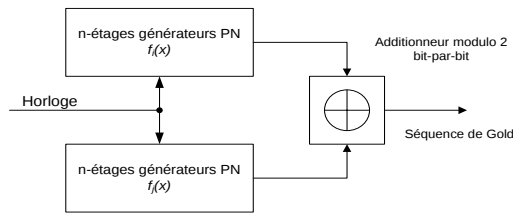


Figure V. Construction des Codes de Gold

La séquence résultante n'est pas à longueur maximale, mais elle est toujours de longueur L_c [Dinan et al., 2002] :

$$G(u, v) = \{u, v, \psi_0, \psi_1, \dots, \psi_{L_c-1}\} \quad (11)$$

avec :

$$\psi_k = (u \oplus T^k v) ;$$

u et v sont deux séquences à longueur maximale préférées de longueur L_c ;

$T^k v$ correspond à une permutation circulaire de k éléments de la séquence v ;

$\oplus$ est l'opérateur d'addition modulo 2.

Une famille de codes de Gold comprend donc les deux séquences à longueur maximale préférées ainsi que les L_c

séquences ψ_k générées à partir des L_c permutations circulaires.

Par conséquent, on dispose de $N_{seq} = L_c + 2$ codes de Gold de longueur L_c .

Comme les codes de Gold sont générés à partir de deux séquences à longueur maximale préférées, leurs fonctions d'intercorrélation paires ne prennent que 3 valeurs.

Les codes de Kasami

Les codes de Kasami sont principalement générés à partir d'une séquence u à longueur maximale telle que $L_c = 2^n - 1$ où n est un nombre pair. Deux classes de codes de Kasami sont distinguées: le « small-set » et le « large-set ». Leurs différences résident d'une part dans la façon de les générer, et d'autre part dans le nombre N_{seq} de séquences obtenues.

Soit v une séquence de longueur $2^{n/2} - 1$ formée par une décimation de période $2^{n/2} + 1$ de la séquence u . Le small-set des séquences de Kasami $K_s(u)$ est alors obtenu en additionnant, modulo 2, les deux séquences u et v :

$$K_2(u) = \{u, \psi_0, \psi_1, \dots, \psi_{2^{n/2}-2}\} \quad (12)$$

$$\text{Avec } \psi_k = u \oplus T^k v$$

La famille $K_s(u)$ des séquences du small-set de Kasami comprend donc la séquence u ainsi que les $2^{n/2} - 1$ séquences ψ_k . Par conséquent, cette famille de codes contient au total $2^{n/2}$ séquences.

Tout comme les codes de Gold, les fonctions de corrélations périodiques paires des codes du small-set de Kasami ne peuvent prendre que trois valeurs

$$\{-1, -s(n), s(n) - 2\} \quad (13)$$

$$\text{Avec } s(n) = 2^{n/2} + 1,$$

Suivant la valeur de n , il existe deux manières pour définir les séquences dites du large-set de Kasami notée $K_L(u)$:

Si $n \bmod 4 = 2$, on a :

$$K_L(u) = \{G(u, v), w \oplus G(u, v), \dots, T \cdot w \oplus G(u, v), \dots, T^{2^{n/2}-2} \cdot w \oplus G(u, v)\} \quad (14)$$

Où u est une séquence à longueur maximale préférée avec v ; w est une séquence de longueur $2^{n/2} - 1$ formée par une décimation de période $2^{n/2} + 1$ de la

séquence u ; $T^k \cdot w$ correspond à une permutation circulaire de k éléments de la séquence w .

Si $n \bmod 4 = 0$, on a :

$$K_L(u) = \{ \Psi(u, v), w \oplus \Psi(u, v), \dots, T \cdot w \oplus \Psi(u, v), \dots, T^{2^{n/2}-2} \cdot w \oplus \Psi(u, v) \} \quad (15)$$

Avec

$$\Psi(u, v) = \{ u, u \oplus v^{(0)}, u \oplus T \cdot v^{(0)}, u \oplus T^2 \cdot v^{(0)}, \dots, u \oplus T^{(L_c/3)-1} \cdot v^{(0)}, u \oplus v^{(1)}, u \oplus T \cdot v^{(1)}, u \oplus T^2 \cdot v^{(1)}, \dots, u \oplus T^{(L_c/3)-1} \cdot v^{(1)}, u \oplus v^{(2)}, u \oplus T \cdot v^{(2)}, u \oplus T^2 \cdot v^{(2)}, \dots, u \oplus T^{(L_c/3)-1} \cdot v^{(2)}, u \oplus v^{(2)} \} \quad (16)$$

Où $v^{(m)}$ est constituée des bits de u suite à une décimation à l'ordre m .

Dans le cas où $n \bmod 4 = 2$, la famille des séquences du large-set de Kasami $K_L(u)$ contient $2^{n/2}(2^n + 1)$ séquences, alors que, pour $n \bmod 4 = 0$, $K_L(u)$ contient $2^{n/2}(2^n + 1) - 1$ séquences. Les fonctions de corrélations périodiques paires des codes du large-set de Kasami prennent 5 valeurs différentes:

$$\{-1, -t(n), t(n) - 2, -s(n), s(n) - 2\} \quad (17)$$

OUTIL D'EVALUATION ET DE COMPARAISON

Présentation de l'outil

Notre intervention se situe au niveau des blocs d'étalement et d'embrouillage dans la chaîne de transmission des systèmes CDMA. Dans ce contexte, nous avons proposé d'implémenter des sous-systèmes d'étalement, d'embrouillage contenant respectivement des générateurs de codes et des différents Switch qui nous permettront d'effectuer des choix de codage.

La stratégie retenue pour la transmission des systèmes CDMA consiste à multiplier le signal utile à un code d'étalement puis à le combiner à une séquence de brouillage ainsi qu'à le moduler avant d'être transmis.

À la réception, le signal reçu est combiné aux mêmes signaux respectivement d'étalement et d'embrouillage afin de récupérer le signal utile. Pour cela, nous avons:

- Simulé une chaîne de transmission (émetteur/canal/récepteur) d'un système CDMA à deux utilisateurs avec Modulateurs BPSK et QPSK
- Développé des routines MATLAB que nous avons intégrées à l'application SIMULINK (Simulink Reference & Communication block-set).
- Implémenté une interface graphique facile à utiliser pour un novice de ce logiciel de simulation.
- Montré les différentes étapes des changements de la forme du signal lors de toute la chaîne de transmission à l'aide des scopes.
- Donné un aperçu des performances de ces codes par rapport aux performances, principalement de la corrélation.

Notre simulation, effectuée grâce au logiciel MatLab, est constituée des blocs SIMULINK ainsi que des m -files et le tout intégré dans une interface graphique.

L'interface, présentée à la Figure VI, permet de naviguer dans plusieurs simulations à savoir le CDMA, la corrélation et la modulation.



Figure VI. Interface principale de simulation

En cliquant sur le bouton CDMA, il nous donne les différentes mutations du signal lors de ses transformations dues aux différentes modifications survenues suite à son étalement, son embrouillage, l'addition des différents signaux, et enfin la récupération des signaux respectifs aux différents récepteurs [Figure VII]

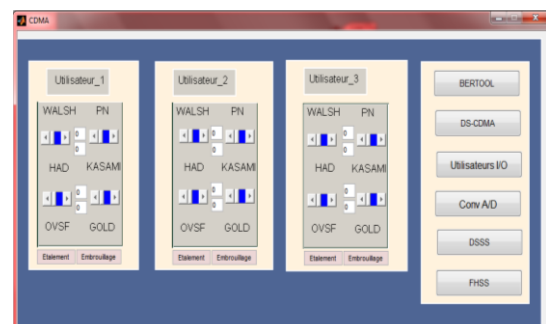


Figure VII. Interface pour les codes d'étalement

On y choisit un code précis, qui interagira avec les blocs de la **Figure VIII** représentant une transmission numérique à trois utilisateurs dans un système CDMA.

Les nombres entiers aléatoires (Random Integer) permettent de générer des signaux numériques (générateur de nombres aléatoires) qui passent dans des convertisseurs unipolaire-bipolaires : ils seront multipliés

par des codes d'étalement qui sont dans le sous-système Spreading (qui a des générateurs de codes Walsh, Hadamard ou les **OVSF**).

Après étalement, les signaux subissent une autre opération qui est l'embrouillage grâce aux PN codes, les codes de Gold ou les codes de Kasami se trouvant dans le sous-système Scrambling.

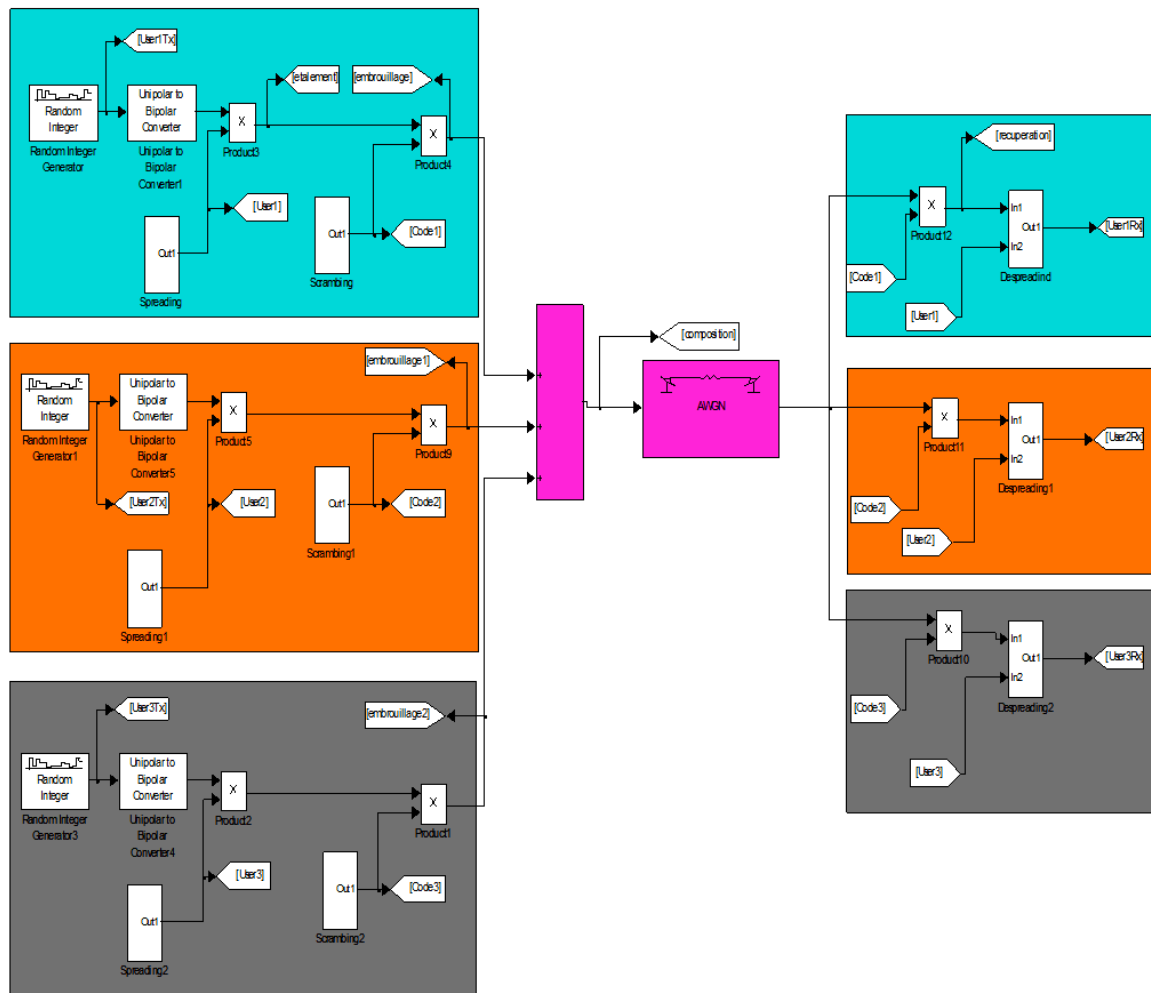


Figure VIII. Bloc simulink pour une transmission numérique à 3 utilisateurs

Les différents signaux sont additionnés et sont transmis à travers le canal de propagation. La modélisation du canal de propagation est donnée par un bloc de bruit blanc gaussien (*Additive White Gaussian Noise* ou **AWGN**) permettant d'avoir un comportement assez réel du milieu de propagation.

A la réception, nous nous attelons au repérage et à la récupération des différents signaux et cela grâce à la multiplication des signaux reçus par les mêmes codes et l'intervention d'un bloc Integer and dump, permettant le repérage des valeurs maximaux étant donné que c'est un additionneur-accumulateur (en veillant au temps d'accumulation égal à la période du générateur des nombres aléatoires).

Les codes

Les codes orthogonaux sont principalement les codes de Walsh, Hadamard et les OVSF et les codes d'embrouillages sont les PN codes, les codes Kasami et les codes de Gold. Ils sont présentés sur la **Figure IX**.

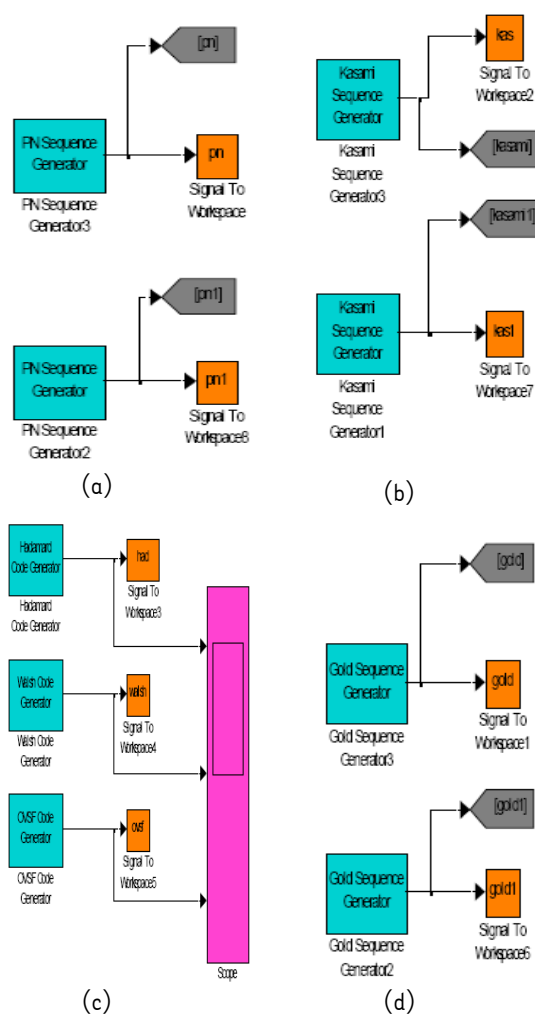


Figure X. Bloc SIMULINK pour fonctions de corrélations

Les performances de ces codes sont directement liées à leurs propriétés de corrélation. D'où nous envoyons ces chips vers le workspace Matlab car ils serviront d'input pour les *m-files*. Nous obtenons les blocs de la Figure X.

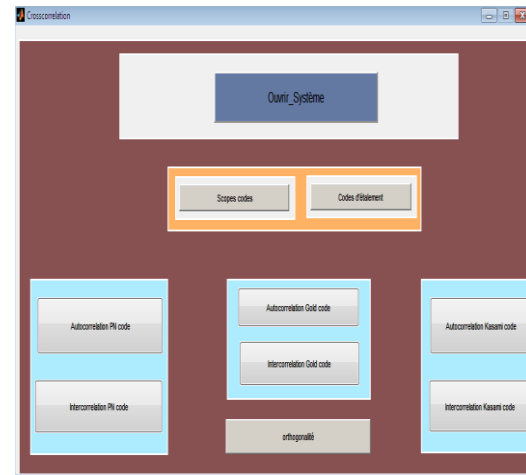


Figure IX. Interface pour fonctions de corrélations et orthogonalités

RESULTATS DE SIMULATION

La corrélation

Grâce aux *m-files* nous sommes en mesure de donner les valeurs d'auto-corrélation et d'inter-corrélation des codes d'embrouillage sur une période (longueur de code 63) (Figure XI).

L'Orthogonalité

Les inputs sont des indexes des codes d'étalement. $1 \leq i \leq 64$ et $1 \leq j \leq 64$.

Ces codes étant orthogonaux, les valeurs de leurs corrélations ne donnent que deux valeurs, 64 et 0.

En analysant le taux d'erreur binaire en fonction du bruit du canal, nous obtenons les courbes de la Figure XII.

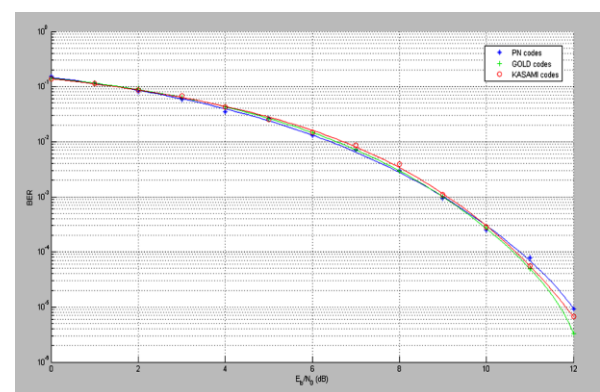


Figure XII. Taux d'erreurs binaires (BER)

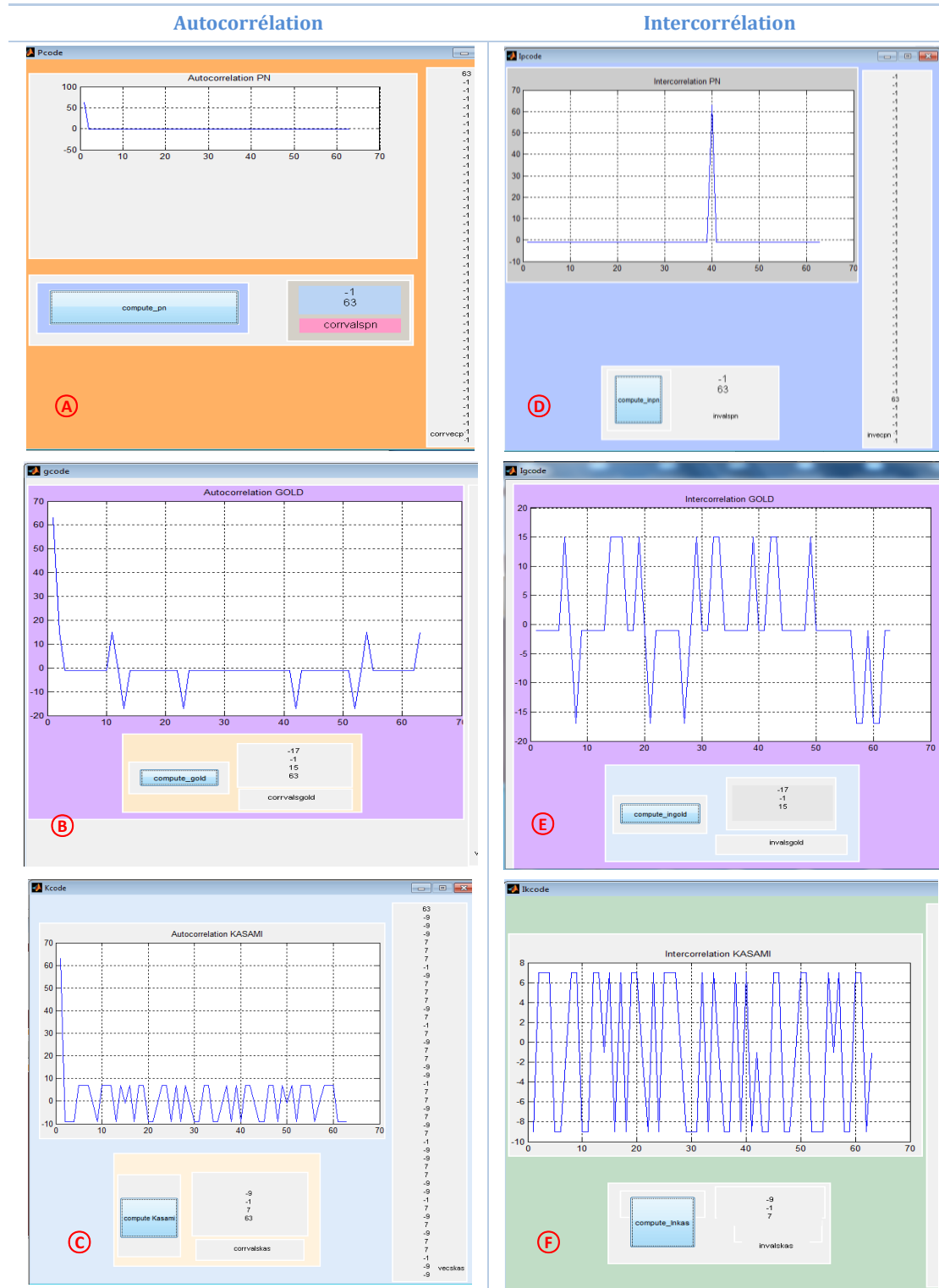


Figure XII. Valeurs d'auto-corrélation et d'inter-corrélation des codes d'embrouillage sur une période (longueur de code 63). (A) Autocorrélation des PN codes où l'interface nous permet de visualiser les différentes valeurs de corrélation du signal avec ses propres décalages, les codes PN affichant les meilleures valeurs d'autocorrélation. (B) Autocorrélation des codes de Gold : moins bonnes capacités à la résistance due aux interférences causées par ses propres décalages. (C) Autocorrélation des codes de Kasami qui présente une meilleure autocorrélation que les codes de Gold. (D) Intercoorrélation des PN codes : Nous avons une corrélation d'un signal avec les décalages d'un autre signal. La probabilité d'avoir une valeur de corrélation maximale est plus grande que pour les codes de Gold et ceux de Kasami. (E) Intercoorrélation des codes de Gold qui présente 3 valeurs d'intercoorrélation et une faible probabilité de corrélation maximale. (F) Intercoorrélation des codes de Kasami où les codes de Gold et de Kasami présentent des valeurs d'intercoorrélation non négligeables mais leur longueur leur permet d'éviter au maximum d'avoir une valeur de corrélation maximale.

Nos simulations permettent de voir clairement que les codes PN ont un taux d'erreur plus faible, suivi des codes de Gold et enfin des codes de Kasami. On constate que plus le code est long, plus il est sécurisant et moins il est performant.

CONCLUSION

Dans un contexte synchrone, il est intéressant de noter que les propriétés d'orthogonalité des codes de Gold orthogonaux, de Walsh-Hadamard et les OVSF constituent un avantage indéniable pour la conception des systèmes de communications numériques tels que les systèmes DS-CDMA.

Les séquences à longueur maximale ont de bonnes propriétés de corrélations mais leur nombre est limité comparé aux codes de Gold et Kasami. En effet, pour des propriétés de corrélations quasiment similaires, on dispose de 65 codes de Gold contre 6 séquences à longueur maximale. La famille des codes du large-set de Kasami offre un nombre de séquences beaucoup plus important que celle des codes de Gold tout en possédant des propriétés de corrélations presque semblables. Les séquences small-set de Kasami résistent mieux aux interférences dues aux bruits du canal, suivi des codes de Gold, ensuite des large-set de Kasami et enfin des PN codes.

RESUME

Le réseau CDMA est réputé pour sa meilleure résistance aux évanouissements sélectifs en fréquence et sa capacité de donner au signal à transmettre, la forme d'un bruit le rendant difficilement détectable par des récepteurs auxquels le message n'est pas destiné. Aussi, plusieurs codes d'étalement sont-ils utilisés pour parvenir à cette fin. L'utilisation de l'un ou l'autre code dépend alors de ce qu'on recherche: la sécurité, le nombre d'utilisateurs simultanés, la performance (BER: bits error rate et corrélation). D'où l'importance de connaître exactement le comportement d'un système, avant d'en choisir la méthode la plus adaptée pour nous permettre d'effectuer un bon codage de canal. Dans le présent article, nous avons fait une description complète des différents codes d'étalement utilisés en CDMA, à savoir les codes de Walsh-Hadamard, les codes PN, Gold et Kasami ; ensuite, nous avons proposé un outil d'évaluation et de comparaison des performances des codes d'étalement, implémenté sur Matlab/Simulink, afin d'en faire un choix judicieux pour des applications particulières.

Mots clés : CDMA, codes d'étalement, Embrouillage, Corrélation, orthogonalité, accès multiple

REFERENCES ET NOTES

- Abu-Rgheff MA** (2007). Introduction to CDMA wireless communications. *Elsevier Academic Press*, San Diego, California.
- Dinan EH, Jabbari B** (2002) Spreading codes for direct sequence CDMA and wideband CDMA cellular networks. *Communications magazine, IEEE*, **36** : 48-54.
- Farraj AK, Amayreh AI** (2009). Minimum cross correlation spreading codes. *Wireless Personal Communications Journal*, **48**(3): 385-394.
- Garg S, Srivastava N** (2011). New binary user codes for DS-CDMA communication. *Journal of Engineering Science and Technology*, **6**(6): 674-684.
- Kavipriya P., Gomathy C.** (2013). An effective data transmission using OVSF codes in WCDMA systems. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, **2**(2): 831-834.
- Kedia D** (2012). Comparative analysis of peak correlation characteristics of non-orthogonal spreading codes for wireless systems. *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, **3**(3): 63-74.
- Kedia D, Duhan M, Maskara SL** (2010). Evaluation of correlation properties of orthogonal spreading codes for CDMA wireless mobile communication, *IEEE 2nd International Advance Computing Conference*, pp. 325-330.
- Lee JS, Leonard E, Miller LE** (1998). CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House, Boston-London.
- Neubauer A, Freudenberger J, Kühn V** (2007). Coding theory Algorithms, Architectures and applications. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Saito M and Yamamoto H** (2002). Sequence assignment of Walsh-Hadamard sequences for quasi-synchronous multi-code CDMA systems, *Wireless personal multimedia communications, the 5th international symposium*, **2**: 673-677.
- Stular M, Tomaie S** (2000). Maximum periodic correlation of pseudo-random sequences in CDMA. *Proceedings MELE-CON, Cyprus*, **1**: 420-423.
- Sundari RBT, Mallikarjuna R, Rambabu C** (2012). Design and Simulation of a CDMA based bidirectional wireless communication data link system for airborne applications. *International Journal of Engineering Research and Applications*, **1**(3): 923-928
- Young RM** (2009). Mobile Communication systems and security. John Wiley and Sons(Asia) Pte Ltd, 2 Clementi Loop, Singapore.
- Youssef MT, Eman AE, Elghany MA** (2009). Direct sequence spread spectrum technique with residue number system. *International Journal of Electrical and Electronics*, **3**(4): 223-229.
- Zakria NS, Elkouny AA and Sobhy MI** (2002). Digital chaotic DS-CDMA communications systems. Circuits and systems, the 2002 45th Midwest symposium, **3** : 629-631.