

# Application de la logique floue aux techniques d'accès multiples par répartition des codes CDMA

Ridha BOUALLEGUE<sup>1</sup>, Abderrazek ABDAOUI<sup>1</sup>, Ammar BOUALLEGUE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SUP COM de Tunis, Route de Raoued Km 3.5 Cité El gazela 2083 Tunisie

<sup>2</sup> Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, BP 37 1002 Tunis Belvédère, Tunisie

L. S. Télécom

ridha.bouallegue@supcom.rnu.tn

**Résumé** - En CDMA (Code Division Multiple Access) les codes utilisés sont générés à l'aide des systèmes à registres. Toutefois ceux-ci présentent plusieurs inconvénients : la connaissance du nombre de registres ainsi que leurs connexions internes permet de produire la même séquence et l'utiliser ensuite pour écouter les conversations des autres ou bien les falsifier. On se propose d'implanter un modèle de génération de séquence qui serait purement aléatoire pour remplacer le générateur classique. Ceci est modélisé par un processus basé sur les principes de la logique floue moyennant certaines règles et certaines conditions initiales.

**Abstract** - Code Division Multiple Access is a spread spectrum technique used in multiple access systems. It spreads any binary signal over a wide bandwidth before sending it. If one receiver try to despreads the signal, it must use same code applied by the sender. The codes in CDMA are made by a shift registers. However, these registers have many disadvantages : any one who knows the number of registers and their inside connexions can easily produce the same séquence and use it to jam the other's conversations. In these papers we have to give you a new pattern based on the fuzzy logic theory with some rules and initial conditions.

## 1. Introduction

La génération des séquences pseudo-aléatoire, utilisées dans les systèmes à accès multiples à répartition de codes, est basée sur un polynôme générateur et une condition initiale. Un intercepteur peut alors extraire l'information connaissant ces paramètres. Dans cet article nous présenterons un moyen plus efficace pour la génération des séquences, basé sur les concepts de la logique floue. Ainsi, il serait presque impossible à un tiers d'être à l'écoute des communications.

Les performances de ce générateur seront mesurées :

D'une part à l'aide du test de chi-deux ; On montrera que les séquences produites sont uniformes, blanche dans le temps et de longueur maximale.

D'autre part, on va simuler la chaîne DS-CDMA dans un canal à bruit blanc additif gaussien (AWGN). Pour cela, on va utiliser les séquences à registres et les séquences floues comme séquences d'étalement. On montrera qu'une chaîne DS-CDMA à séquence floue présente une probabilité d'erreur par bit moins faible que celle de la chaîne à registres, et les effets du facteur d'élargissement et du nombre d'utilisateur sur la fiabilité de cette chaîne.

Dans une première partie, on va introduire les séquences pseudo - aléatoires. Par la suite, nous allons présenter les notions de base de la logique floue. Puis, on entamera le principe de fonctionnement du générateur de codes. Et on finira par les résultats de simulations et une conclusion.

## 2. Les séquences pseudo - aléatoires :

Les séquences pseudo - aléatoires occupent une place importante dans les différents domaines de télécommunications, notamment radar, identification de systèmes et les techniques d'Accès Multiples par Répartition de Codes.

Les générateurs de ces séquences sont généralement à base de registres à décalages de longueur  $m$ . Un tel générateur consiste en  $m$  cellules mémoires cadencées par une horloge unique. A chaque impulsion d'horloge, l'état de chaque cellule est transmis à la suivante. Les connexions d'un système à registres sont définies par un polynôme primitif irréductible  $h(x)$ .

$$h(x) = \sum_{j=0}^{m-1} h_j x^j \quad (1)$$

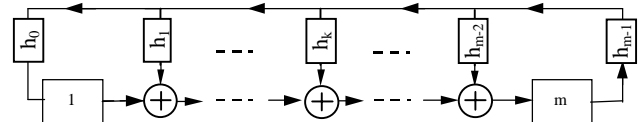


FIG. 1 : Schéma de connexions d'un générateur à registres

## 3. La logique floue

Née en 1965, la logique floue consiste à accorder aux affirmations décrivant la réalité, un certain degré de vérité rappelant la façon de raisonner des ordinateurs à celle des humains. Le raisonnement sera donc basé sur des données approximatives pour extraire des solutions précises.

Le concept de la logique floue est la généralisation de la logique classique, qui tient compte uniquement de deux événements distincts. En effet, cette théorie considère un certain degré d'appartenance à une classe admettant des situations intermédiaires entre le «vrais » et le « faux » .

En conséquence des concepts de sous-ensembles flous ont été adopté. Ces concepts ont été introduit pour éviter les passages brusque d'une classe à une autre et autoriser une appartenance partielle à chacune des classes. Les figures suivantes expliquent bien la différence entre sous - ensemble ordinaire et sous - ensemble flou relatif à la taille d'une personne.

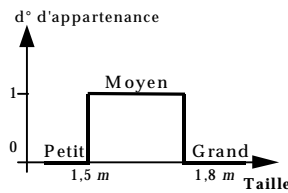


FIG. 2: Sous - ensembles Petit, Moyen, Grand Logique classique

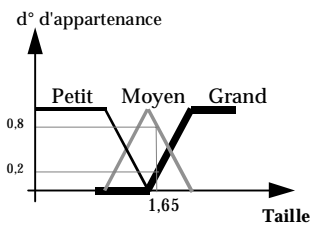


FIG. 3: Sous - ensembles Petit, Moyen, Grand Logique floue

#### 4. Principe du générateur de codes

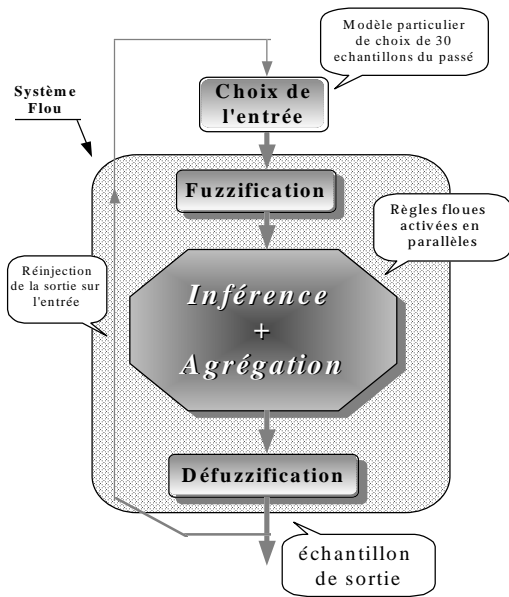


Fig. 4 : Schémas en blocs du synthétiseur flou

La figure 4 illustre le diagramme de fonctionnement du générateur flou de séquences, il est formé d'un organe de

choix de l'entrée qui permet de sélectionner des échantillons du passé (Figure 5). Ces derniers vont intervenir dans la génération d'une nouvelle sortie par tirage aléatoire.

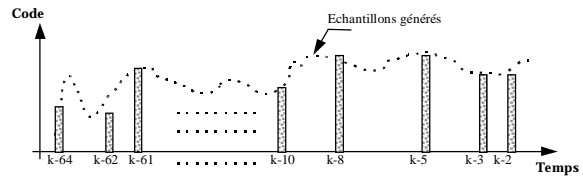


FIG. 5 : Modèle de choix de l'entrée à l'instant k

La fuzzification permet la classification des échantillons d'entrée selon les sous-ensembles flous adoptés. Sur la variable floue ainsi obtenue, on applique un certain nombre de règles dans l'étape d'inférence. L'agrégation consiste à sommer les sorties de l'étape précédente.

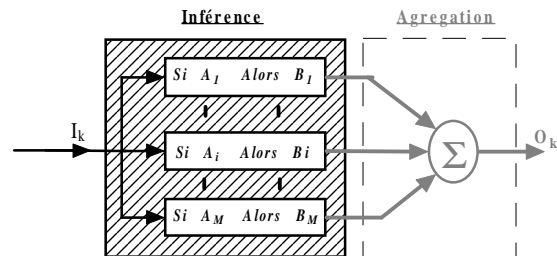


FIG. 6 : Raisonnement flou (inférence et agrégation)

Enfin la dernière opération consiste à appliquer la méthode du centre de gravité permettant ainsi la défuzzification de la sortie de l'étape d'agrégation.

#### 5. Résultats de simulations

Dans cette simulation, nous avons comparé les deux séquences générées respectivement par le système flou et le système classique.

Par la suite, nous avons vérifié la fiabilité du DS-CDMA qui utilise le système flou comme générateur de codes par rapport à celle qui utilise les systèmes à registres.

##### 5.1 Performances du générateur flou

Nous avons utilisé deux systèmes à registres, de longueurs différents, pour les comparer avec le générateur flou. Le premier système est formé de 33 registres, le deuxième comporte 20 registres. Ces deux générateurs produisent des séquences qui ont des périodes très élevées. ( $2^{33}-1 \approx 8.5$  millions,  $2^{20}-1 \approx 1$  million).

La séquence issue du système flou, donne les valeurs de chi-deux les plus faible. Par conséquent, cette séquence est plus proche d'une distribution théorique uniforme, blanche dans le temps comparée à celle générée par le système à registres.

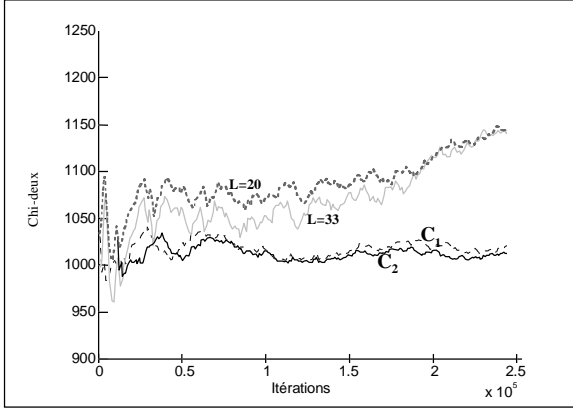


FIG. 7 : Chi-deux du système flou et du système à registres

## 5.2 Simulation pratique d'une chaîne DS-CDMA

Nous avons examiné de près les effets d'élargissement de spectre sur les environnements à accès multiples. Nous avons comparé la fiabilité du CDMA qui utilise le système flou comme générateur de codes avec celle qui utilise le système à registres.

Soit un canal CDMA partagé par  $n=20$  utilisateurs avec un facteur d'élargissement  $\xi=T/T_c=30$ . Avant d'entamer les simulations, on présente les modèles théoriques de chaque étage de la chaîne qui ont été utilisés pour simuler le DS-CDMA.

### 5.2.1 Modèle de l'émetteur

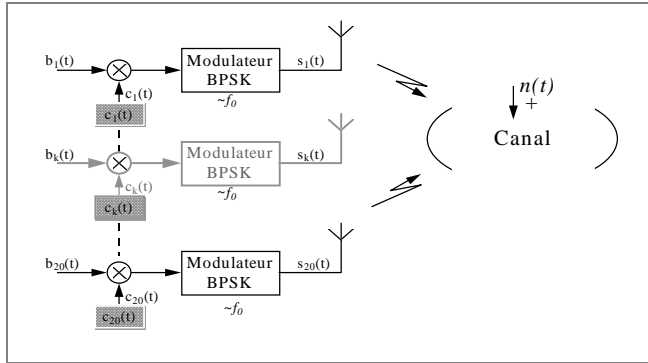


FIG. 8 : Chaîne d'émission d'un système DS-CDMA

Au  $k^{\text{ème}}$  utilisateur, on associe le signal information  $b_k(t)$  et celui d'étalement  $C_k(t)$ .

$$b_k(t) = \sum_{i=1}^l b_k^i g_{T_b}(t - iT_b) \quad (2)$$

$$C_k(t) = \sum_{i=1}^{N-1} c_k^i g_{T_c}(t - iT_c) \quad (3)$$

$g_{T_c}(t)$  est la fonction de mise en forme pour la séquence de code,  $b_k^i$ ,  $c_k^i$  sont respectivement les bits d'informations, bits de la séquence d'étalement.

à la sortie du modulateur le signal  $S_k(t)$  est défini comme suit :

$$s_k(t) = \sqrt{\frac{2E_c}{T_c}} C_k(t) b_k(t) \cos(w_c t) \quad (4)$$

$E_c$  est l'énergie du signal par chip

### 5.2.2 Modèle général d'un canal DS-CDMA :

Un canal DS-CDMA à  $L$  trajets peut être modélisé par la réponse impulsionnelle suivante :

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^L \beta_{lk} \exp(j\gamma_{lk}) \delta(t - \tau_{lk}) \quad (5)$$

Où  $\beta_{lk}$ ,  $\tau_{lk}$  et  $\gamma_{lk}$  sont respectivement le gain en trajet, décalage en temps et la phase de chaque trajet. L'indice  $lk$  correspond au  $l^{\text{ème}}$  trajet du  $k^{\text{ème}}$  utilisateur  $k$ .

### 5.2.3 Modèle du récepteur

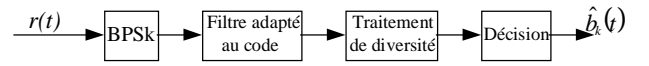


Fig. 9 : Diagramme en bloc du récepteur

Appliquons le modèle du canal, le signal reçu au niveau de l'antenne est :

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A \beta_{lk} a_k(t - \tau_{lk}) b_k(t - \tau_{lk}) \cos(w_c t + \Phi_{lk}) + n(t) \quad (6)$$

Le signal  $r(t)$  peut être représenté par :

$$r(t) = x(t) \cos(w_c t) + y(t) \sin(w_c t) + n(t) \quad (7)$$

où

$$n(t) = n_c(t) \cos(w_c t) + n_s(t) \sin(w_c t) \quad (8)$$

$$x(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A \beta_{lk} a_k(t - \tau_{lk}) b_k(t - \tau_{lk}) \cos(\Phi_{lk}) + n_c(t) \quad (9)$$

$$y(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A \beta_{lk} a_k(t - \tau_{lk}) b_k(t - \tau_{lk}) \sin(\Phi_{lk}) + n_s(t) \quad (10)$$

On considère que l'utilisateur 1 est l'utilisateur de référence. La sortie du filtre adapté au code est :

Pour  $t=T_b$

$$g_x(T_b) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A \beta_{lk} \cos(\Phi_{lk}) [b_k^{-1} R_k(\tau_{lk}) + b_k^0 \hat{R}_k(\tau_{lk})] + \eta \quad (11)$$

$$g_y(T_b) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A \beta_{lk} \sin(\Phi_{lk}) [b_k^{-1} R_k(\tau_{lk}) + b_k^0 \hat{R}_k(\tau_{lk})] + \nu \quad (12)$$

où  $g_x(t)$  et  $g_y(t)$  sont respectivement la composante en phase et en quadrature de phase pour la sortie du filtre adapté à la forme d'onde relative à l'utilisateur 1.

$b_k^{-1}$  et  $b_k^0$  sont respectivement les bits précédent et courant de données.

La fonction de corrélation est donnée par :

$$R_{lk}(\tau) = \int_0^\tau a_k(t - \tau) a_1(t) dt \quad (13)$$

$$\hat{R}_{lk}(\tau) = \int_\tau^{T_b} a_k(t - \tau) a_1(t) dt \quad (14)$$

Les simulations ont été fait pour un canal mono - trajet à bruit blanc additif gaussien :

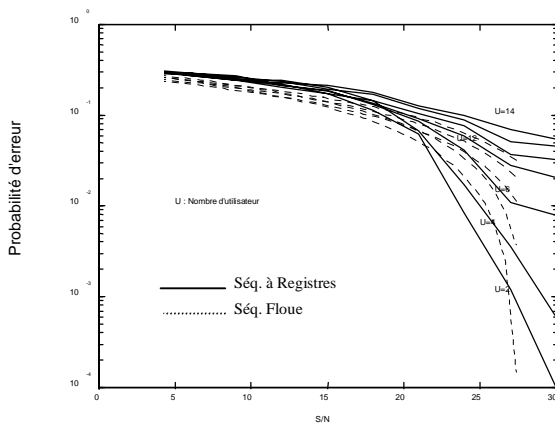


Fig. 10 : Probabilité d'erreur en fonction du nombre d'utilisateurs et de S/N

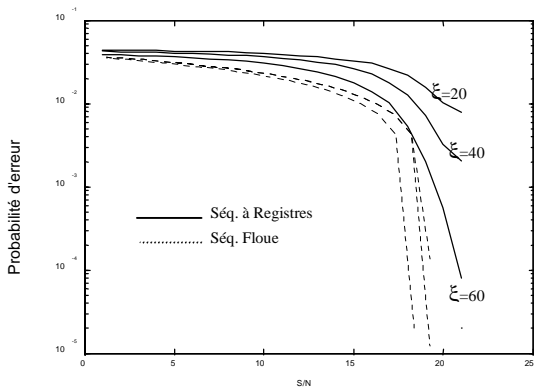


FIG. 11 : Probabilité d'erreur en fonction de ( $\xi$ , S/N)

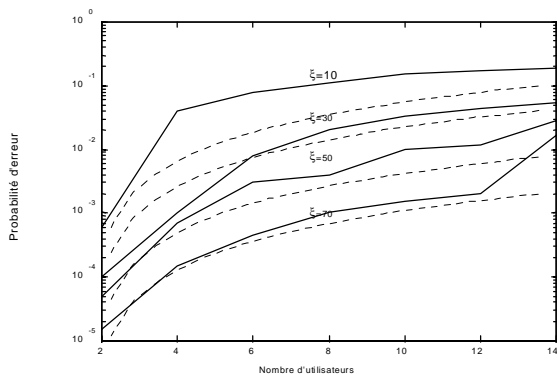


Fig. 12 : Probabilité d'erreur en fonction du nombre d'utilisateurs

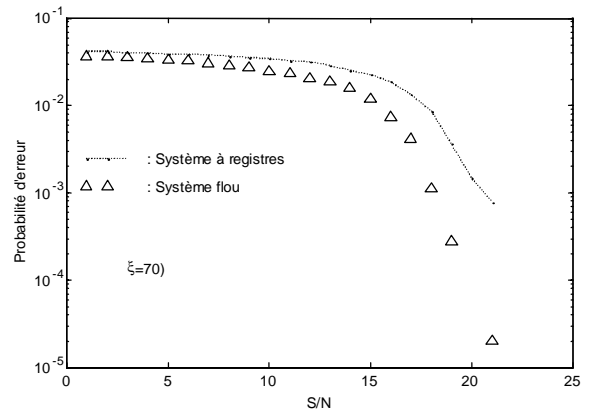


FIG. 13 : Probabilité d'erreur par bit pour une chaîne DS-CDMA

## 6. Conclusion

Les générateurs classiques sont déterministes, c'est à dire qu'une configuration d'un certain nombre de registres peut nous ramener à une séquence considérée comme secrète. Cependant, le générateur flou présente beaucoup plus d'avantages par rapport aux générateurs classiques.

Le caractère adaptatif du générateur présenté a permis de considérer que ceci est universel : pour modifier le type de la séquence qu'il génère, il suffit d'agir sur le modèle d'apprentissage tout en laissant intact le générateur, les règles utilisées et quelques paramètres de sécurité.

Les résultats de simulations montrent que ce générateur est efficace pour les techniques CDMA utilisées dans les systèmes radio-mobile de troisième génération (IS95, UMTS2000). Par conséquent une station de base, dans un réseau radio-mobile, va attribuer aux usagés des séquences différentes qui sont orthogonales, non corrélées et purement aléatoire au lieu d'être pseudo-aléatoire.

## Références

- [1] R. Prasad, *CDMA for wireless personnel communications*, Artech house Publishers, LONDON 1996, p. 54-59 & p.103-109.
- [2] Peter J. Pacini, Bart Koko, « Adaptive Fuzzy Frequency Hopper » IEEE Transaction on Communications Vol. 43, no 6, Juin 1995.
- [3] B. Bouchon-Meunier, *La logique Floue*, Presse universitaires de France, PARIS 1993, p.8-10 & p.55-57.
- [4] S. Haykin, *Digital Communications*, John wiley & Sons 1998, P.273-290 & p.445-473.
- [5] G. Saporta, *Probabilités Analyse Des Données et Statistique*, Editions Technip, PARIS 1990, p 88-97.