

TP2 ETRS802_ESET

Traitement numérique du Signal

*Etude d'un système simple de communication CDMA
bas débit et mise en œuvre*

Objectifs du TP2 :

Partie 1

- Analyser de manière empirique les propriétés des codes utilisés dans ce type de communication à l'aide de MATLAB.
- Se familiariser avec les opérations de corrélation et les résultats qui en découlent, toujours sous MATLAB.

Partie 2

- Réalisez le décodage (sous MATLAB) des données associées à une voie qui est contenue au sein d'une trame CDMA au même titre que d'autres.

Partie 3

- Voir le lien entre l'opération d'intercorrélation et le filtrage adapté en vue d'une implémentation dans le DSP.

Nota : le travail effectué sous **Matlab** lors des séances de TD et de TP précédentes est à consulter si besoin pour finir de faciliter votre familiarisation avec ce Logiciel.

Figures de la simulation sous Matlab : Chaque figure devra être sauvegardée (demander à l'enseignant comme faire) afin de pouvoir faire des comparaisons entre les différentes parties du TP. Le nom des figures doit reprendre le numéro affecté à la figure (exemple fig111, donne lieu au fichier « **figure111.fig** »)

Partie 1 : Analyses des codes de WALSH-HADAMARD (WH) et de BARKER (BK) **utilisés pour établir une trame ou séquence CDMA à partir de données binaires à transmettre.**

Dans cette partie, nous travaillerons avec 5 codes utilisés dans la technique de communication CDMA. Il s'agit des codes suivants :

- Code de WALSH-HADAMARD 1 => $\text{codeWH1} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1]$;
- Code de WALSH-HADAMARD 2 => $\text{codeWH2} = [1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1]$;
- Code de WALSH-HADAMARD 3 => $\text{codeWH3} = [1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1]$;
- Code de WALSH-HADAMARD 4 => $\text{codeWH4} = [1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$;
- Code de BARKER => $\text{codeBK} = [1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 0]$

Avant de commencer les analyses demandées, faites quelques recherches sur Internet pour vous assurer que la **technique du CDMA** est comprise et ce que sont les **codes orthogonaux de WALSH-HADAMARD**. Ce sont des codes qui possèdent de **bonnes propriétés d'autocorrelation** et **d'intercorrelation** qui sont utilisés dans ce TP. Appelez l'enseignant pour **lui faire part** de la compréhension que vous avez de ces sujets.

- 1) **Créez** le signal temporel associé à chaque code de **WALSH-HADAMARD** en utilisant la fonction **MATLAB FCT_CODE_WH.m** fournie par l'enseignant. Les paramètres de cette fonction sont :
 - Le code à transformer en un signal temporel (ou symbole) dont le format est le suivant : **BinaryChipSequence** = $[1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1]$ à titre d'exemple;
 - La durée du chip, **ChipTime** = **0.002** seconde => durée d'un 1 ou d'un -1.
 - La fréquence d'échantillonnage, **F_e** = **8000** Hz.
 - L'amplitude des chip, **Amplitude** = **1** volt.
- 2) **Tracez sur un graphe (Fig. 21 à Fig. 24)** chaque signal obtenu, en fonction du nombre de point (**relevez le nombre de points du signal**) puis en fonction de la bonne échelle de temps (**Fig 25 à Fig 28**) afin d'observer si le code associé correspond.
- 3) **Calculez et tracez (Fig. 31 à Fig. 34)** l'autocorrelation (commande « **xcorr** ») de chaque signal associé à un code de **WALSH-HADAMARD** (fig.31 associé à l'autocorr. du signal « code WH1 », etc...)
Observez chaque résultat séparément, expliquez ce qu'indique le pic positif le plus élevé et ce qui se passe ailleurs?
Relevez la valeur de l'amplitude du pic le plus élevé de chaque auto-correlation. Comparez cette amplitude avec le nombre de points relevé à la question 2.
Comparez chaque résultat d'autocorrelation, commentez et concluez ?

Refaites le même travail (Fig. 35 à Fig. 38) avec des codes de **WALSH-HADAMARD à 16 chips**. En **cherchant sur internet**, choisissez 4 codes de WALSH-HADAMARD à 16 chips en **expliquant** la manière dont on est passé de **8 chips à 16 chips**, en fait comment on construit ces codes. **Comparez** les figures 31 ---- 34 à 35 -----38, remarques et commentaires ?

***** A CETTE ETAPE DU TP => PARTAGEZ VOS REMARQUES ET COMMENTAIRES AVEC L'ENSEIGNANT *****

Dans la suite du TP on utilisera toujours des codes de WALSH-HADAMARD à **8 chips**, ceux présentés au début de la partie 1.

- 4) **Calculez et tracez (Fig. 41)** l'intercorrélation (commande « **xcorr** ») des signaux associés aux codes de WALSH-HADAMARD 1 et 2.
Comparez les résultats observés avec ceux obtenus précédemment, notamment avec les l'autocorrelation du code WH1 (Fig. 31) et celle du code WH2 (Fig.32), commentez et concluez ?
- 5) **Faites** la somme des signaux associés aux codes de WH 1 et WH2, la tracer sur la **Fig.50**.
Calculez et tracez (Fig. 51 à Fig. 54) l'intercorrélation de cette somme avec chacun des 4 codes de WALSH-HADAMARD.
Commentez les résultats observés, concluez ?
- 6) **Retrouvez** le code de WH se trouvant dans la séquence binaire enregistrée dans le fichier **CodeAretrouver.wav** (rappel : commande « **audioread** » pour charger les données du fichier dans une variable) que vous tracerez sur la figure **Fig.60** avec la bonne échelle de temps.
Combien de fois ce code est-il présent dans la séquence binaire ?
Affichez vos résultats sur autant de figures nécessaires (Fig.61)
Expliquer la démarche qui vous a permis aboutir à une réponse ?
Vérifiez la présence du code retrouvé sur la figure Fig. 60 ?

*** A CETTE ETAPE DU TP => PARTAGEZ VOS REMARQUES ET COMMENRAIRES AVEC L'ENSEIGNANT ***

- 7) **Calculez et tracez (Fig.71)** l'autocorrelation du signal associé au code de BARKER.
Calculer et tracer (Fig.72) l'autocorrelation d'un signal associé à un code quelconque (par exemple : [1 1 1 1 -1 -1 -1 -1])
Commentez chaque résultat séparément ?
Comparer les résultats d'autocorrelation obtenus, commentez et concluez?
Pour quelles raisons le code de Barker est bien plus efficace que le code quelconque ?
(nota : les résultats observés justifient le fait que le Code de BK est utilisé pour synchroniser la séquence CDMA)
- 8) **Chargez** le fichier **CodeBruiteAretrouver.wav** dans une variable sous matlab et afficher le signal (**Fig. 80**) qui en est issu avec la bonne échelle de temps.
Selon vous, est-t-il possible reconnaître le signal associé à un code de WALSH-HADAMARD ?
Faites une intercorrelation du signal bruité avec chaque signal associé à un code WH, **affichez (Fig. 81 à Fig. 84)** les résultats et comparez les respectivement avec les autocorrelations de chaque code (**Fig.31 à Fig.34**).
Pouvez-vous maintenant identifier le signal associé au code de WH qui se trouve noyé dans le bruit ?
Tracez le spectre du signal bruité (Fig. 85) et celui (Fig. 86) du signal associé au code de WH que vous avez identifié, comparez les spectres ?
Commentez et concluez sur l'intérêt d'utiliser des codes dans les transmissions de données?

*** A CETTE ETAPE DU TP => FAITES VALIDER PAR L'ENSEIGNANT LE TRAVAIL EFFECTUE ***

=> PARTAGEZ VOS REMARQUES ET COMMENRAIRES AVEC LUI

Partie 2 : Décodage des données contenues dans les voies 1 et 2 de la séquence CDMA.

Cette partie est indépendante de la partie précédente, vous pouvez alors créer un nouveau fichier Matlab au format .m.

Les données de la voie 1 ont été étalées avec les codes de **WALSH-HADAMARD 1** et **WALSH-HADAMARD 2** dans une séquence CDMA qui dans un premier temps ne contient qu'une seule voie (un seul canal). Le codeWH1 est associé au « 1 » logique et le codeWH2 au « 0 ». La séquence CDMA commence avec 4 fois le code de BARKER ce qui permet la **synchronisation du récepteur**.

- 9) **Chargez** dans la variable «**SeqCDMA1**» la séquence CDMA contenue dans le fichier **SeqCDMA1.wav** (utilisez la commande « **audioread** »)

Tracez sur un graphe (**Fig. 91**) la séquence CDMA avec les bonnes échelles temps.

Au regard du tracé, est-il possible de déterminer aisément les données associées au canal 1 même si vous connaissez les codes (code 1 et code 2 de WALSH-HADAMARD donnés ci-avant) qui sont associés au canal 1 ? Expliquez ?

- 10) **Calculez** les intercorrélations (commande« **xcorr** ») entre :

- La séquence CDMA et le code de BARKER = IntercorrCDMA_BK
- La séquence CDMA et le codeWALSH 1 = IntercorrCDMA_codeWH1
- La séquence CDMA et le codeWALSH 2 = IntercorrCDMA_codeWH2

Tracez (Fig. 101 à Fig. 103) chaque intercorrélation sur un graphe en fonction du nombre de points.

Commentez les résultats observés ?

- 11) **Tracez (Fig. 111 à Fig. 113)**, en fonction du nombre de points, sur 3 graphes différents:

- IntercorrCDMA_BK **et** IntercorrCDMA_codeWH1
- IntercorrCDMA_BK **et** IntercorrCDMA_codeWH2
- IntercorrCDMA_BK, IntercorrCDMA_codeWH1 **et** IntercorrCDMA_codeWH2

Commentez les résultats observés ?

A votre avis, à quels instants faudrait-t-il prélever un échantillon sur les intercorrélations IntercorrCDMA_codeWH1 et IntercorrCDMA_codeWH2 pour pouvoir décoder les données binaires associées au canal 1.

***** A CETTE ETAPE DU TP => FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT LE TRAVAIL EFFECTUE *****

=> PARTAGEZ VOS REMARQUES ET COMMENTAIRES AVEC LUI

- 12) En vous appuyant sur les observations faites précédemment, **proposez et réalisez** un programme qui permet de décoder et récupérer les données binaire (0 et 1) du canal 1 qui sont enfouies dans la séquence ou trame CDMA (fichier **SeqCDMA1.wav**).
Affichez en même temps la **figure 113** et le **résultat du décodage** sous forme de 0 et 1 dans la console Matlab.

- 13) Faites la même chose pour le fichier **SeqCDMA2.wav** qui contient des données au **format ASCII** (une lettre du code ASCII est sur 8 bits), **retrouvez** ainsi le **message** qui a été transmis. **Affichez** dans la console Matlab le résultat du décodage **au format binaire** (0 et 1) et le **message transporté au format texte**.

***** A CETTE ETAPE DU TP => FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT LE TRAVAIL EFFECTUE *****

=> PARTAGEZ VOS REMARQUES ET COMMENTAIRES AVEC LUI

Les données des voies 1 et 2 ont été étalées respectivement avec **les codes de WALSH-HADAMARD 1 - WALSH-HADAMARD 2** et **les codes de WALSH-HADAMARD 3 - WALSH-HADAMARD 4** dans une séquence CDMA (**SeqCDMA3_2Voies_Perso.wav**) qui contient maintenant 2 voies (2 canaux). **Pour la voie 1**, Le codeWH1 est associé au « 1 » logique et le codeWH2 au « 0 ». **Pour la voie 2**, Le codeWH3 est associé au « 1 » logique et le codeWH3 au « 0 ». La séquence CDMA commence avec 4 fois le code de BARKER ce qui permet la synchronisation du récepteur.

- 14) En vous basant sur le code réalisé à la question 13, **décodez les messages** contenus dans les **voies 1 et 2 respectivement**

Affichez dans la console Matlab **les messages transportés au format texte**.

- 15) Choisissez une des **intercorrelations** qui vous a permis d'aboutir **au décodage des messages** et tracez la sur une figure (**Fig. 151**).

Que remarquez-vous ? Expliquez ?

***** A CETTE ETAPE DU TP => FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT LE TRAVAIL EFFECTUE *****

=> PARTAGEZ VOS REMARQUES ET COMMENTAIRES AVEC LUI

En vue d'une transmission radio (modulation etc), on s'intéresse maintenant aux propriétés fréquentielles des codes de WH.

- 16) Au regard de **la forme d'un chip**, est-ce que vous **pensez qu'elle est optimale ?**

Si ce n'est pas le cas alors, expliquez et proposez d'autres formes en motivant **vos choix ?**

En vous inspirant de la fonction **MATLAB FCT_CODE_WH.m** fournie par l'enseignant, **créez une fonction** qui permet d'intégrer la **forme choisie**.

Prouvez ensuite à l'enseignant, que la forme du chip choisie est plus adaptée ?

- 17) **Créez vous-même** une séquence CDMA à deux voies **en y intégrant** des messages de votre choix. Pour ceux qui ont proposé **une autre forme du chip** à la question précédente, générez votre séquence CDMA avec cette forme.

Demandez ensuite à un de vos camarades de décoder votre séquence pour retrouver les **messages transportés**.

Partie 3 : Etudes complémentaires (filtre adapté) avant implémentation dans le DSP.

18) Créez le `codeWH1bis` qui se trouve être le signal temporel retourné du `codeWH1`. Faites ensuite une **convolution (commande « *conv* ») du `codeWALSH1bis` avec la séquence CDMA (fichier *SeqCDMA1.wav*). Tracez le résultat de la convolution sur une figure (**Fig. 181**) et **comparez** le avec celui de l'intercorrelation de la séquence CDMA et le `codeWH 1` (IntercorrCDMA_codeWH1, **Fig. 102**) obtenu précédemment.
Commentez les résultats observés et concluez ?**

***** A CETTE ETAPE DU TP => FAIRE VALIDER PAR L'ENSEIGNANT LE TRAVAIL EFFECTUE *****
=> PARTAGEZ VOS REMARQUES ET COMMENTAIRES AVEC LUI

Quelques fonctions Matlab qui vous seront peut être utiles :

length(), figure(...), plot(...), min(...), max(...), fft(...), fftshift(...), abs(...), angle(...), xcorr(...), conv(), binaryVectorToDecimal(), display(), sprint(), flipud()