

Projet de communications numérique Simulation d'une chaine de communication numérique au standard DVB-S

Deuxième année SN parcours Télécommunications-Réseaux
2023-2024

Matériel à fournir pour l'évaluation

Nous vous demanderons de rendre un rapport (format pdf) et vos codes par mail, pour :

- **le jour de l'oral : version préliminaire (Draft)**
- **26 janvier 2024 : version définitive**

groupe T2 : Marie-Laure Boucheret marie-laure.boucheret@enseeiht.fr

groupe T1 : Nathalie Thomas nathalie.thomas@enseeiht.fr

groupe R1 : Benoît Escrig benoit.escrig@enseeiht.fr

groupe R2 : Martial Coulon martial.coulon@enseeiht.fr

Le rapport

Le rapport devra comporter, comme tout rapport, un sommaire, une introduction présentant les objectifs des TP, une conclusion synthétisant les principaux résultats obtenus et une bibliographie comprenant les références utilisées, notamment pour expliquer vos résultats.

Chaque partie du travail à effectuer fera l'objet d'un paragraphe du rapport.

Les figures incluses dans vos rapports devront être lisibles et devront toutes comporter un titre, des labels sur leurs axes (utiliser xlabel et ylabel sous matlab) ainsi qu'une légende si plusieurs courbes sont tracées sur la même figure (utiliser legend sous matlab).

Les équations devront être réalisées avec un éditeur d'équation.

Attention

Toutes vos explications/justifications devront utiliser des arguments provenant de ce qui a été vu en cours et TDs, éventuellement des arguments que vous aurez trouvés dans des livres ou sur des sites internet (vous devrez alors les citer dans la partie références de votre rapport). Soyez précis et clairs dans vos explications/justifications, utilisez les bons termes techniques (provenant des cours en lien avec ces TP ou des livres/sites que vous aurez cités).

Les codes

Les codes fournis devront être commentés de manière suffisante et claire.

Les fichiers .m fournis devront porter des noms significatifs.

Description du projet

Introduction

L'objectif du projet de communication numérique est de simuler sous Matlab une chaîne de transmission au standard DVB-S (diffusion par satellite).

Le projet comporte deux parties :

- dans la première partie le canal de propagation est un canal AWGN
- dans la deuxième partie le canal de propagation est un canal de Rice non sélectif en fréquence.

Partie I : Etude de la chaîne DVB-S dans un canal Gaussien

1 Modulateur/démodulateur

Le modulateur DVB-S utilise la modulation QPSK avec une mise en forme en racine de cosinus surélevé (SRRCF : Square root raised cosine filter) de roll-off $\beta=0.35$.

Le démodulateur optimal devra être implanté et le TEB simulé puis comparé au TEB théorique. On travaillera sur la chaîne passe-bas équivalente associée à la chaîne de transmission sur fréquence porteuse. On définit pour cela un signal complexe basse fréquence équivalent au signal transmis (enveloppe complexe) : $x_e(t) = I(t) + jQ(t)$;

De la même manière, on associe un bruit complexe basse fréquence au bruit $n(t)$ introduit par le canal de propagation : $n_e(t) = n_I(t) + jn_Q(t)$ avec $S_{n_I}(f) = S_{n_Q}(f) = N_0$

1.1 Génération de l'enveloppe complexe associée au signal à transmettre

On générera une suite de symboles QPSK équiprobables et indépendants conformément à la constellation à la norme DVB-S (voir la norme sous Moodle).

On mettra en forme en utilisant un filtre en racine de cosinus surélevé de roll-off $\beta=0.35$ (norme DVB-S) synthétisé à $F_e=NR_s$ et de réponse impulsionnelle notée $h(n)$. La synthèse de $h(n)$ pourra être effectuée en utilisant par exemple les fonctions `rcosdesign.m` de matlab.

1.2 Mise en place du récepteur en l'absence de canal

On placera en réception un filtre permettant de respecter le critère de Nyquist et qui fera également office de filtre adapté. On mettra ensuite en place l'échantillonnage au débit symbole. On choisira l'instant optimal d'échantillonnage en utilisant, par exemple, un diagramme de l'œil. On fera attention de prendre en compte les retards introduits par les filtres de la chaîne de transmission. On implantera ensuite l'organe de décision (détecteurs à

seuil sur les voies réelles et imaginaires). On pourra calculer le taux d'erreur symbole afin de vérifier, en l'absence de bruit, qu'il est bien nul.

1.3 Canal de transmission

On ajoutera un canal AWGN à la chaîne de transmission précédente. On pourra utiliser plusieurs puissances de bruit que l'on calculera en fonction de E_b/N_0 . On montrera que la variance du bruit à appliquer sur les voies en phase et quadrature du bruit complexe $n(t)$ s'écrit de la manière suivante :

$$\sigma_I^2 = \sigma_Q^2 = \frac{P*N}{2*\log_2(M)*\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_T} \quad (\text{sans codage})$$

$$\sigma_I^2 = \sigma_Q^2 = R \frac{P*N}{2*\log_2(M)*\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_u} \quad (\text{avec codage})$$

Où P est la puissance du signal, N le nombre d'échantillons par symbole, M la taille de l'alphabet des symboles, R le rendement du code, $(E_b/N_0)_T$ le SNR par bit transmis et $(E_b/N_0)_u$ le SNR par bit utile..

On visualisera l'influence du bruit sur les diagrammes de l'œil. On évaluera le TES et le TEB de la liaison en fonction de E_b/N_0 pour des valeurs allant de 0dB à 4dB par pas de 1 dB et on le comparera aux TES et TEB théoriques.

Notes :

- Les TES/TEB estimés ne seront fiables qu'au-delà d'une centaine d'erreurs mesurées.
- Bien entendu il s'agira d'expliquer tous les résultats obtenus...

2 Codage canal

Le standard DVB-S spécifie un codage canal constitué de deux codes concaténés : un code de Reed Solomon RS(204,188) suivi d'un code convolutif (7,1/2) qui peut être poinçonné pour obtenir différents rendements (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8). Afin d'optimiser les performances du codage canal un entrelaceur de type convolutif est ajouté entre les deux codes.

2.1 Introduction du code convolutif

On ajoutera à la chaîne de transmission de base réalisée précédemment un code convolutif (7, 1/2) de polynômes générateurs $g_1 = 171_{\text{oct}}$ et $g_2 = 133_{\text{oct}}$ conformément au standard DVB-S. On utilisera pour cela les fonctions `poly2trellis.m` et `convenc.m` de matlab. Afin de se familiariser avec le fonctionnement de ces fonctions on peut, dans un premier temps, considérer un code convolutif (3, 1/2) de polynômes générateurs $g_1 = 5_{\text{oct}}$ et $g_2 = 7_{\text{oct}}$ avant de passer au code défini dans le DVB-S.

Le décodage d'un code convolutif se fait en utilisant l'algorithme de Viterbi (fonction `vitdec.m` de matlab). Deux modes de décodage sont possibles : décodage de Viterbi hard (organe de décision précédant l'algorithme de Viterbi) et soft (entrées réelles dans l'algorithme de Viterbi).

Pour des valeurs de E_b/N_0 allant de 4 à 7 dB, on comparera les TEB obtenus avec et sans codage en fonction du E_b/N_0 utile, en testant les deux modes de décodage.

2.2 Ajout du poinçonnage

On poinçonnera la sortie du codeur convolutif précédent de façon à obtenir un code de rendement $2/3$. On utilisera pour cela la matrice de poinçonnage $P = [1101]$. Il est possible de donner la matrice de poinçonnage souhaitée dans les fonctions `convenc.m` et `vitdec.m` de matlab.

2.3 Ajout de l'entrelaceur et du code de Reed Solomon

La norme DVB-S prévoit un codage externe de Reed-Solomon. Ce code est appliqué par blocs de 188 octets qui correspondent à la longueur d'une trame MPEG2 système. On ajoutera donc à la chaîne précédente un codage RS (204,188), appliqué à des symboles de 8 bits. Le code RS (204,188) est un code raccourci construit à partir du code RS de longueur maximale (255,239) dont la capacité de correction t est de 8 symboles. On utilisera les fonctions `comm.RSEncoder.m`, `comm.RSDecoder` et `step.m` de matlab.

La norme DVB-S place un entrelaceur entre le codeur RS et le codeur convolutif. Cet entrelaceur est de type convolutif. Après avoir justifié l'utilisation d'un entrelaceur on l'implantera en utilisant les fonctions `convintrlv.m` et `convdeintrlv.m` de matlab.

On comparera les valeurs de TEB obtenues avec et sans entrelaceur.

Partie II : communications avec les mobiles par satellites

L'objectif de cette partie est d'évaluer l'apport du codage canal pour un système de communications avec les mobiles par satellite basée sur la norme DVBS.

Tâches principales à effectuer :

- Modélisation du canal mobile satellite non-sélectif en fréquence sous MATLAB
- Mesure des performances en termes de TEB et de diversité sans codage canal
- Mesure des performances en termes de TEB et de diversité avec codage canal

Position du problème :

On considère la transmission via un satellite de flux multimédia d'un émetteur fixe vers des récepteurs mobiles situés en environnement urbain ou semi-urbain.

Les signaux utilisés sont conformes à la norme DVBS (voir partie 1).

Le canal mobile satellite est considéré comme non sélectif en fréquence (bande de cohérence bien supérieure à la bande de cohérence dans le cas des communications mobiles terrestres).

Deux types de scénarios seront considérés :

- Présence d'un trajet direct entre le satellite et le récepteur (LOS)
- Absence de trajet direct entre le satellite et le récepteur

Travail à effectuer :

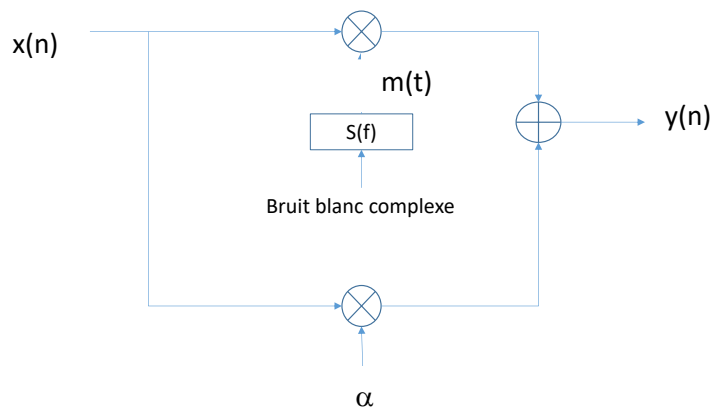
On montre que l'utilisation de codage correcteur d'erreurs permet d'obtenir une diversité de :

- d_{libre} (resp. d_{min}) pour un code convolutif (resp. code en bloc) dans le cas d'un décodage à entrées souples (soft decoding)
- $d_{\text{libre}}/2$ (resp. $d_{\text{min}}/2$) pour un code convolutif (resp. code en bloc) dans le cas d'un décodage à entrées dures (hard decoding)

Important : ces résultats ne sont valables que si les symboles successifs d'un mot de code ou d'une séquence codée sont affectés d'évanouissements **indépendants**. Si la condition d'indépendance n'est pas respectée, le degré de diversité est moindre

1 – Modélisation du canal mobile satellite

Le canal mobile par satellite peut être modélisé comme un canal de Rice non sélectif en fréquence. Le facteur de Rice est noté K (on rappelle que le facteur de Rice est le rapport entre la puissance du signal et la puissance des multitrajets).



$S(f)$: filtre permettant de modéliser le temps de cohérence.

$x(n)$: signal en entrée du canal

$y(n)$: signal en sortie du canal (sans bruit thermique)

Pour simplifier on prendra pour $S(f)$ un filtre passe bas de fréquence de coupure $1/(5T_c)$ où T_c est le temps de cohérence du canal (utilisez par exemple un filtre de Buterworth). Ce dernier dépend de la vitesse du mobile et de longueur d'onde utilisée. On prendra ici un temps de cohérence égal à $10T_s$ où T_s est la période symbole.

Le facteur de Rice K est égal à :

$$K = \frac{\alpha^2 E(|x(n)|^2)}{E(|x(n)|^2)E(|m(n)|^2)} = \frac{\alpha^2}{E(|m(n)|^2)}$$

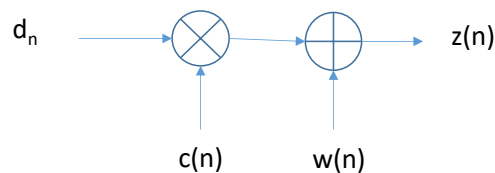
Compte tenu de la valeur du temps de cohérence, on supposera que le canal est constant sur la durée de la réponse impulsionnelle du filtre de réception.

Montrez que le signal échantillonné à nT_s en sortie du filtre adapté est égal à :

$$z(n) = c(n)d_n + w(n) \quad (1)$$

où $c(n)$ est le coefficient multiplicatif du canal (loi de Rayleigh ici), d_n est le symbole QPSK d'intérêt et $w(n)$ est un échantillon de bruit.

En utilisant (1) on utilisera dans la suite du projet la chaîne équivalente ci-dessous (modèle échantillonné à R_s) :



2 - Etude de la diversité apportée par le codage dans un canal de Rayleigh non sélectif en fréquence

Dans cette partie, on considèrera deux modulations : la modulation BPSK et la modulation QPSK.

On considèrera 2 types de compensation de canal (appelées aussi « one tap equalizer ») :

- ZF : $p(n) = \frac{1}{\hat{c}(n)}$
- ML : $p(n) = \hat{c}^*(n)$

On supposera que l'estimation de canal est parfaite c'est-à-dire que $\hat{c}(n) = c(n)$.

Travail à effectuer:

- 1- Faire un schéma de la chaîne de transmission sans codage.
- 2- Vérifiez qu'en l'absence de codage canal la diversité obtenu est de 1 pour les deux types de compensations de canal avant décision : ZF et ML

On étudiera dans la suite la diversité apportée par le codage canal. Par souci de simplification, on considèrera un système codé à base du seul code convolutif ($R=1/2$, 5, 7, $d_{\text{libre}}=5$).

Le temps de cohérence sera modélisé en prenant la même valeur du canal pour P échantillons successifs (pour un temps de cohérence égal à P échantillons).

3- Cas de la modulation BPSK

On considérera également les deux types de compensation de canal (ZF et ML) avant décodage.

a) Faire un schéma de la chaîne de communication sans entrelaceur

Expliquez pourquoi la diversité obtenue en l'absence d'entrelaceur est inférieure à la diversité attendue.

b) Faire un schéma de la chaîne de communication avec entrelaceur (on utilisera un entrelaceur ligne-colonne dans les programmes MATLAB).

Vérifiez que dans le cas de la compensation ML la diversité apportée par le code dans le cas d'un décodage dur est la moitié de celle obtenue dans le cas d'un décodage souple.

4- Cas de la modulation QPSK

Vérifiez qu'avec un entrelaceur adéquat on obtient les valeurs de diversité attendues pour un égaliseur ML.

3- Etude de la diversité apportée par le codage dans un canal de Rice non sélectif en fréquence

La modulation utilisée est la QPSK, l'égalisation est de type ML.

On considérera 3 valeurs pour le facteur de Rice : $K=0$ dB, $K=5$ dB, $K=10$ dB

Travail à effectuer :

- 1- Faire un schéma de la chaîne de communication
- 2- Déterminer la diversité pour chaque valeur de K dans le cas de communications non codées
- 3- Déterminer la diversité pour chaque valeur de K dans le cas de communications codées. On utilisera le code convolutif du paragraphe 2.