

APPLICATION DES MÉTHODES DE MODULATION D'AMPLITUDE EN QUADRATURE

Transmission de l'information - compte rendu laboratoire

Université de Lorraine - ENSEM ISN 2A

FRANÇA DE SALES Déric Augusto

32219632

`deric-augusto.franca-de-sales6@etu.univ-lorraine.fr`

FERREIRA MARTINS Michelle

32219634

`michelle.ferreira-martins5@etu.univ-lorraine.fr`

17 janvier 2023

1 Introduction

Pour transmettre une information, on utilise parfois des moyens analogiques ou numériques pour la coder. Pour pouvoir générer ce codage et utiliser l'un des moyens pour sa transmission, on utilisera l'une des méthodes de la Figure 1.

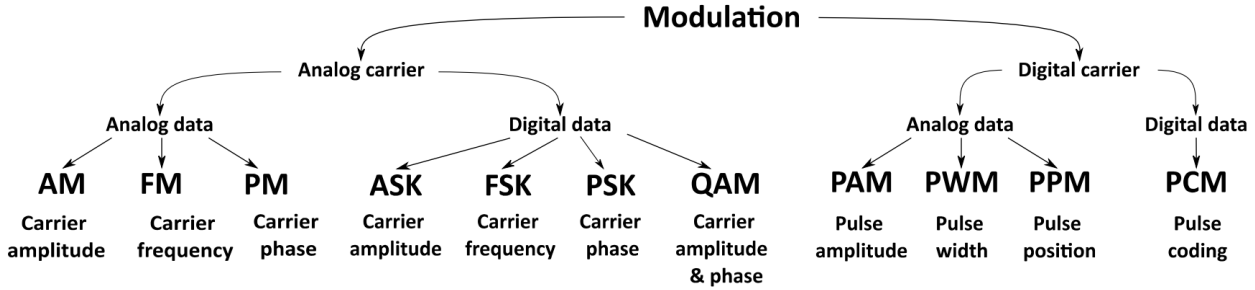


FIGURE 1 – Catégorisation de la modulation des signaux en fonction des types de données et de porteuses [1].

De nos jours, le traitement numérique du signal est largement utilisé pour sa facilité de stockage et de traitement. Et pour transmettre informations codées numériquement, nous pouvons utiliser le support analogique. Ainsi, le signal numérique, qui sera binaire, peut être codé et transmis analogiquement en faisant varier l'amplitude, la fréquence ou la phase d'une onde oscillatoire. Il est également possible de combiner ces méthodes, tout en modifiant l'amplitude et la phase de cette onde oscillatoire.

Ainsi, cette onde modulée (porteuse), abritera une information numérique qui sera stockée faisant varier sa phase et son amplitude, et qui pourra être démodulée pour obtenir l'information numérique originale stockée.

Dans la modulation d'amplitude en quadrature (du anglais *Quadrature Amplitude Modulation* - *QAM*), un ou plusieurs flux binaires numériques peuvent être transmis en modulant les amplitudes d'ondes porteuses de même fréquence et décalées les unes par rapport aux autres de 90° (condition appelée orthogonalité ou quadrature), ce qui facilite la démodulation de ces ondes. Ainsi, il est possible de définir le signal modulé $m_k(s)$ décrit par la relation (1), où $a_k(t)$ est la composante en phase et $b_k(t)$ en quadrature.

$$m_k(t) = g(t - kT) \cdot (a_k \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b_k \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)) \quad (1)$$

Dans les schémas *QAM*, on utilise souvent un diagramme de constellation pour représenter la phase et l'amplitude qui ont été choisies et leur ordre de grandeur, en utilisant la représentation de Fresnel (chaque point étant de type $C_k = A_k + j \cdot B_k$). Les points de cette constellation sont généralement disposés dans une grille carrée et le nombre de points dans la grille sera donné par des puissances de 2, puisque nous aurons affaire à des informations binaires. La Figure 2 montre une constellation et ses niveaux de points possibles.

En modifiant l'ordre de la constellation, il est possible de transmettre davantage de bits par symbole. Toutefois, ce changement augmentera la consommation d'énergie du système ou les points seront plus rapprochés dans le diagramme, ce qui rendra l'information stockée dans l'onde résultante plus sensible aux changements d'interférence, puisqu'une petite variation dans l'onde peut être interprétée comme un niveau différent par le démodulateur.

Ainsi, la pratique en question porte sur l'utilisation de la méthode *QAM* pour moduler une information numérique permettant sa transmission sous forme analogique. L'implication de l'utilisation d'un plus grand nombre de symboles, l'effet de l'interférence dans ce choix et les filtres qui peuvent être utilisés ont également été analysés. Ce rapport décrit les pratiques réalisées lors de travaux pratiques de 4h chacun les jours 17/11/2022 et 14/12/2022. L'ordre

des sujets traités et des questions auxquelles il est répondu correspond au matériel mis à disposition en classe. Le logiciel LabVIEW 2018 en version 32 bits a été utilisé, nécessaire pour faire fonctionner la boîte à outils Modulation. Cette dernière permet aussi la connexion avec le bloc NI-USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) 2920 permettant ainsi une modulation réelle à Haute Fréquence.

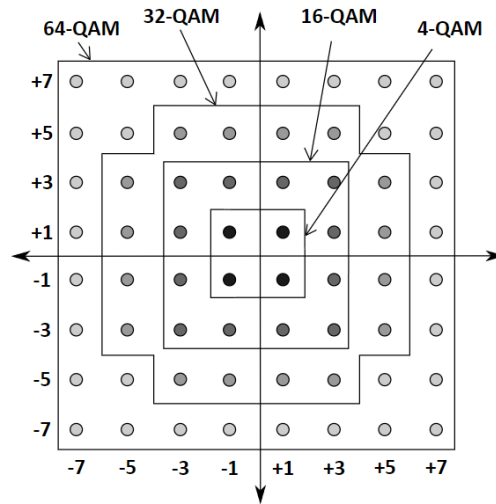


FIGURE 2 – Les points de constellation pour la $QAM-4$, la $QAM-16$, la $QAM-32$ et la $QAM-64$ qui se chevauchent [2].

2 Objectifs généraux

- Simulation d'une transmission de données numériques ;
- Application de la transmission en Haute Fréquence à l'aide de l'*USRP*.

3 Transmission en bande de base

L'objectif de cette partie est d'étudier les modulations $QAM-4$ et $QAM-16$, de comprendre leur fonctionnement et d'explorer les différences de chacune.

Dans un premier temps, le processus de modulation $QAM-4$ a été construit. De cette façon, nous avons un total de deux bits et 4 symboles (00 01 10 11). La constellation résultante peut être visualisée dans la figure 3 en vert. En rouge, dans la même image, il est possible de noter les points choisis, en bleu, le codage binaire ASCII du message écrit et en jaune, le codage du vecteur binaire du cadre bleu pour les symboles du cadre rouge.

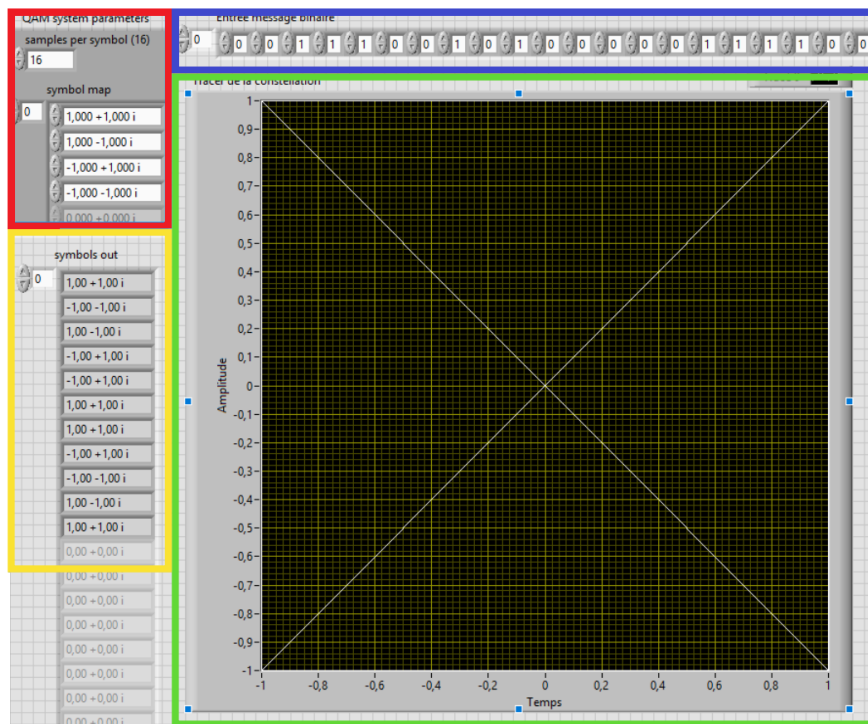


FIGURE 3 – Système QAM-4 crée.

Premier réponse

C'est possible noter que lors de la transmission d'un message, le premier symbole (composé de deux bits) n'est pas envoyé. Par conséquent, un espace a été ajouté au début du message. Sachant que chaque caractère du code ASCII comporte 8 bits, il est nécessaire d'indiquer un décalage lors de la lecture du message. Ce décalage, également appelé indice de décalage de chaîne, sera de $8 - 2 = 6$. En procédant ainsi, la lecture se fera à partir du deuxième caractère et l'espace placé au début du message ne sera pas reçu.

Deuxième réponse

Le dessin de la constellation est un moyen visuel de détecter les erreurs dans le message causées par les interférences sur l'onde porteuse. Plus la constellation est claire et alignée, moins il y a d'erreurs dans la transmission. Afin de réduire ces erreurs provenant des processus de modulation et de démodulation, on peut faire varier le rapport signal/bruit dans le canal de transmission. Pour chaque valeur d'échantillon/symbole, le signal/bruit de rapport a été modifié et le tableau 1 a été rempli. La colonne de droite indique les valeurs minimales du rapport signal/bruit pour lesquelles aucune erreur de transmission ne se produit.

Troisième réponse

Pour la modulation 16-QAM, le même processus a été répété. Nous avons maintenant 4 bits et 16 symboles (0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111). La constellation peut être observée sur la Figure 4.

Samples/symbol	résultat
4	10
8	10
12	11
16	11

TABLE 1 – Valeurs minimales du rapport de signal/bruit pour le système *QAM-4*.

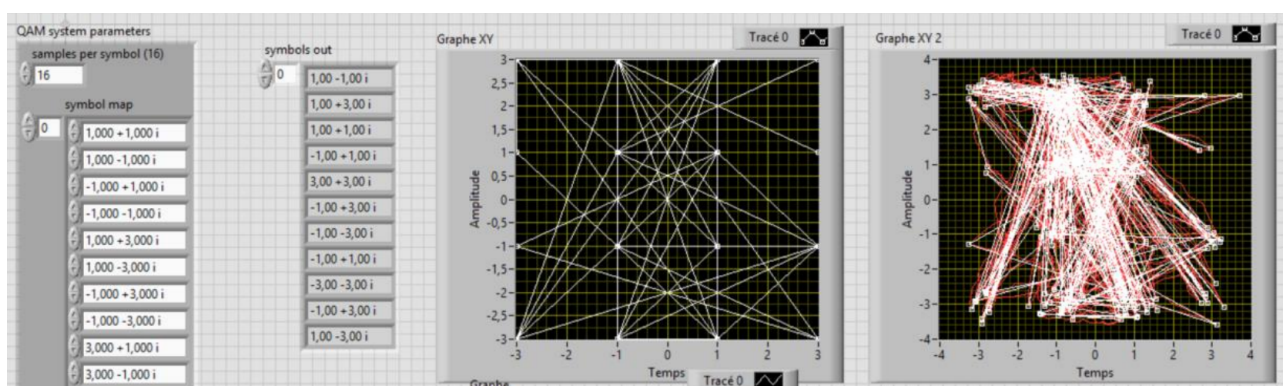


FIGURE 4 – Système *QAM-16* crée.

En considérant à nouveau l'erreur de transmission, le premier symbole (composé maintenant de 4 bits) n'est pas envoyé et nous devons à nouveau ajouter un espace au début du message. Recalculer le nouvel indice de décalage de la chaîne : $8 - 4 = 4$.

Pour réduire l'erreur de transmission, on a également fait varier le rapport signal/bruit pour chaque échantillon/symbole. Les valeurs minimales sont organisées dans le tableau 2.

Samples/symbol	résultat
4	19
8	20
12	20
16	20

TABLE 2 – Valeurs minimales du rapport de signal/bruit pour le système *QAM-16*.

En comparant les valeurs des tableaux 1 et 2, on remarque que les valeurs du rapport signal/bruit de la *QAM-16* sont plus grandes. Cela se produit parce que l'augmentation du nombre de symboles réduit la distance entre eux si la valeur de l'énergie reste fixe. Ainsi, de petites interférences peuvent générer plus d'erreurs en *QAM-16*. Il est donc nécessaire d'augmenter le rapport signal/bruit.

Quatrième réponse

L'utilisation de filtres sert à réduire le bruit qui peut interférer avec le signal et même générer des erreurs. Pour minimiser ces bruits, nous devons choisir un filtre passe-bas.

4 Utilisation de l'USRP

Pour la réalisation de la deuxième partie, on a utilisé la même construction de modulation que dans la première partie. En outre, la classe a été divisée en binômes, la moitié jouant le rôle d'émetteur et l'autre moitié celui de récepteur. Le but est de transmettre un message à partir d'un ordinateur, de l'envoyer par une antenne et d'utiliser un récepteur connecté à un autre ordinateur pour visualiser le texte reçu. Lorsque plusieurs messages sont transmis simultanément, des interférences peuvent survenir et entraîner une réception erronée du signal.

Notre binôme était l'un des émetteurs. Les valeurs du gain et du nombre de points par symbole ont été convenues avec une binôme qui serait le récepteur.

Initialement, la valeur de notre fréquence était de 1,6 GHz, tandis que les autres groupes opéraient dans les fréquences de 1 GHz, 1,2 GHz et 1,4 GHz. On observe que la différence entre les fréquences est significative. De cette façon, les transmissions des messages ne subissaient pas autant d'interférences. Le schéma réalisé peut être vu dans la Figure 5.

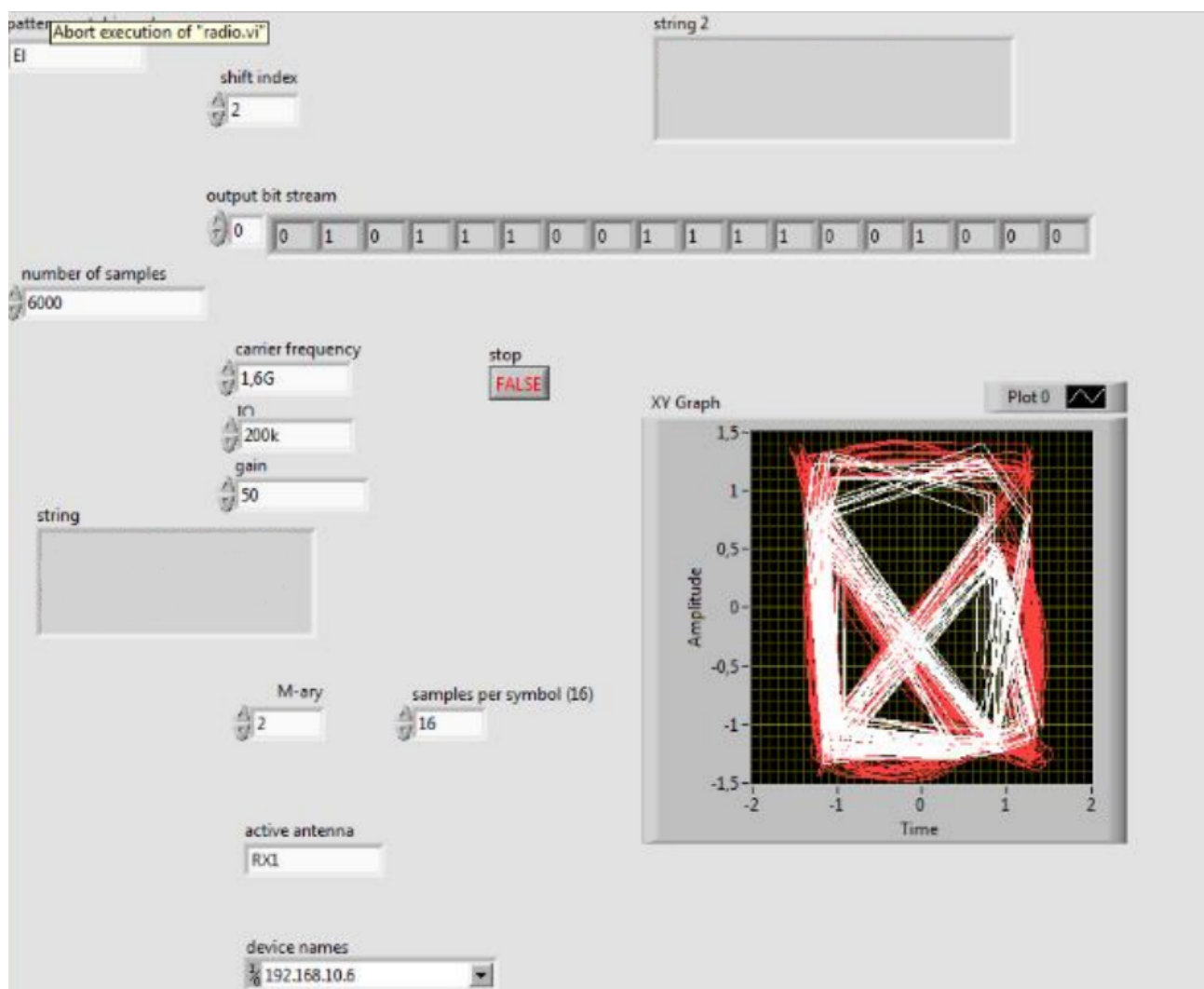


FIGURE 5 – Schéma mis en œuvre pour la transmission de messages via USRP.

Premier réponse

La valeur entière minimale du rapport S/B était de 50 pour une transmission sans erreur.

Deuxième réponse

Ensuite, chaque binôme a fonctionné sur des fréquences proches afin de vérifier les interférences entre l'envoi d'un message et d'un autre. Afin d'éviter ce problème, certains filtres ont été testés et le meilleur résultat a été obtenu avec le filter "*Root Raised Cosine*".

Troisième réponse

Le filtre a permis de distinguer un signal avec une différence de fréquence de l'ordre de 0,01GHz.

Quatrième réponse

Il convient de rappeler que la modulation de type *QAM-16* est plus sensible aux interférences. Pour utiliser ce type de modulation, il est nécessaire de modifier la carte de symboles et d'augmenter le nombre d'échantillons par symbole.

Bibliographie

- [1] via Wikimedia Commons Michel Bakni, CC BY-SA 4.0
; <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>. Modulation categorization. disponible
sur : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Modulation_categorization.svg.
- [2] via Wikimedia Commons Michel Bakni, CC BY-SA 4.0
; <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>. Rectangular constellation. disponible
sur : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rectangular_constellation_for_QAM.svg.