

Co-intervention Physique et Informatique Utilisation du logiciel GNU Radio

BTS CIEL

Semestre 1 2023_2025

Présentation

Gnu radio permet de réaliser une radio logicielle.

Une radio logicielle fonctionne de façon numérique à l'aide d'un processeur classique d'ordinateur ou d'un processeur de signal numérique (DSP). Un simple convertisseur analogique-numérique, lié à une antenne, permet de recevoir sur une large bande de fréquences les signaux qui seront ensuite traités. Il est donc possible d'utiliser le même équipement pour recevoir une multitude de signaux, sous différentes fréquences et formes, en ne changeant que la partie logicielle.

GNU Radio est une suite exclusivement logicielle ne s'attachant qu'au traitement du signal. Il faut, pour recevoir et émettre, utiliser du matériel permettant la numérisation des signaux. Par exemple :





Dans ce TP, nous allons seulement étudier la partie logicielle.

Télécharger et installer le logiciel radioconda avec le lien suivant :

https://glare-sable.vercel.app/ryanvolz/radioconda/radioconda-.*-Windows-x86_64.exe

L'utilisation des nombres complexes

Les signaux dans GNU Radio sont souvent des nombres complexes qui par définition n'ont pas de réalité physique. Les nombres complexes contiennent à la fois les composantes I (In Phase) et Q (uadrature Phase). Une sinusoïde peut aussi être ramenées à un nombre complexe <u>S</u>

Rappels : Le diagramme IQ

Dans un diagramme IQ, un point représente une sinusoïde s(t). Les coordonnées polaires de ce point correspondent

- à l'amplitude A et
- à la phase à l'origine ϕ de la sinusoïde.

$$s(t) = A.sin(\omega t + \varphi)$$

Cette sinusoïde est la somme

- d'une sinusoïde « In Phase » : i(t) et

- d'une cosinusoïde « Quadrature Phase »: q(t)



Les coordonnées cartésiennes du point dans le diagramme IQ correspondent :

- à l'amplitude I de i(t)

- à l'amplitude Q de q(t)

NB : le seul paramètre de la sinusoïde qui n'apparaît pas dans le diagramme IQ est la fréquence f ou la pulsation ω .

 $s(t) = i(t) + q(t) = I.sin(\omega t) + Q.cos(\omega t)$

 $I = A.cos(\phi)$ $Q = A.sin(\phi)$

 $S = A. e^{j\varphi}$ de module A et d'argument ϕ

```
On peut également l'écrire sous la forme cartésienne \underline{S} = I + jQ.
```

I est la partie réelle de <u>S</u> Q est la partie imaginaire de <u>S</u>

Une sinusoïde devient un nombre complexe que l'on peut représenter dans le plan complexe.

Ouvrir dans GNU Radio companion le programme « complexe.grc » :

La fréquence d'échantillonnage est une variable appelée « samp_rate » égale à 48 kHz.

Le bloc « Constant Source » permet de générer un nombre complexe : 0,707 + j.0,707. La partie réelle représente I, la partie imaginaire Q.

I = 0,707 ; Q = 0,707

Le bloc « Signal Source » génère une cosinusoïde en partie réelle et une sinusoïde en partie imaginaire. Cette dernière sinusoïde est considérée comme

la porteuse, la fréquence choisie est 4,8 kHz.

Le programme effectue ensuite le calcul $s(t) = I.sin(\omega t) + Q.cos(\omega t)$.

La sinusoïde apparaît dans le diagramme IQ, ou de constellation

(mathématiquement c'est le plan complexe)

1- Relever le déphasage entre le signal et la porteuse. Faire le lien avec le diagramme IQ présenté.



2- Régler I et Q pour obtenir A=1 et ϕ =-22,5°.

. Q=

Modulateur en bande de base

Nous allons dans cette partie apprendre à utiliser le bloc « Constellation Modulator » pour générer un signal modulé en QPSK.

Pour cela, ouvrir le programme « **qpsk0.grc** ».

Ce programme permet de générer I et Q à partir d'une source aléatoire avec une constellation QPSK. Lancer ce programme.

Trois graphes apparaissent :

I et Q en fonction du temps

Le diagramme de constellation, I en fontion de Q

Le spectre du signal (signal s(t) en fonction de la fréquence).

Les signaux I, Q ont été filtrés avec un filtre RRC. C'est impossible avec GNU Radio de ne pas utiliser ce filtre, il est toujours activé. Cela montre l'importance qu'a ce filtre dans les modulations numériques.

Un second filtre a été ajouté dans le programme grâce au bloc « Decimating FIR Filtre ».

3- Relever le type de filtre utilisé. Expliquer son rôle (il est possible de le désactiver en cliquant sur le bloc et en pressant la touche « b » qui signifie bypass).

4- Analyser le diagramme de constellation. Justifier qu'il s'agit de la constellation QPSK.

Le signal que nous étudions n'est pas modulé (pas de porteuse). Le spectre du signal au lieu d'être centré sur la fréquence porteuse comme nous en avons l'habitude est centré sur 0. Cela dit la bande passante B peut tout de même être mesurée.

5- Mesurer la bande occupée par le signal (penser à zoomer). Comparer avec D le débit binaire.

Modulateur avec porteuse

Le signal est analysé en bande de base le plus souvent dans GNU Radio. Dans cette partie, nous allons générer le signal modulé QPSK avec sa porteuse à une fréquence de 4,8 kHz.

Ouvrir le programme « qpsk1.grc »

Visualiser I et Q en fonction du temps ainsi que le signal modulé.

6- Choisir un instant, relever I et Q, en déduire la phase. Mesurer la phase à ce même instant grâce au graphe donnant le signal modulé et la porteuse. Comparer et valider la simulation.

Visualiser le spectre du signal modulé (mettre le paramètre repeat à « yes » dans le bloc Random Source). On ne s'intéressera qu'aux fréquences positives.

7- Relever la fréquence sur laquelle est centré le spectre. Donner les valeurs de la bande occupée. Commenter ces résultats.

Cette partie modulation (ainsi que la démodulation) n'est en général pas étudiée avec GNU Radio. La modulation se fait dans le matériel à très haute fréquence (de quelques MHz à quelques GHz). La partie logicielle ne se penche que sur la bande de base, dans laquelle nous resterons pour la suite du TP.

La synchronisation

Les diagrammes de constellation présentés jusqu'à maintenant affichent tous les échantillons. Or certains de ces échantillons ne sont pas à prendre en compte dans la décision.

Rappel :

En sortie du filtre à cosinus surélevé, le signal est lissé comme ci-dessous :



Les instants de décisions qui apparaissent en bleu sont les instants pour lesquels le symbole doit être détecté. Pour choisir ces instants de décision, il est nécessaire de synchroniser.

Ouvrir le programme « **qpsk2.grc** ».

La synchronisation se fait avec le bloc « Polyphase Clock Sync ». L'explication du principe de synchronisation dépasse le cadre de ce TP.

Le wiki suivant vous l'explique : https://wiki.gnuradio.org/index.php/Guided Tutorial PSK Demodulation#Recovering Timing

Lancer ce programme. Le diagramme de constellation est parfait car il s'agit d'une simulation. Les choses ne sont évidemment pas si simples en réalité.

Le canal

Le canal utilisé jusqu'à présent était parfait. Nous allons simuler un canal réel.

Commençons par ajouter du bruit.

Dans le programme « **qpsk2.grc** », le canal est simulé grâce au bloc « Channel Model ». Dans ce bloc ajouter du bruit dans le champ « Noise Voltage ». Choisir 0,2 V.

8- Expliquer l'effet du bruit sur le diagramme de constellation.

Autre effet qui peut poser des difficultés, une déviation de la fréquence porteuse. Prenons une faible déviation de fréquence. Choisir « Frequency offset = 1e-6 ».

9- Expliquer l'effet de la déviation de fréquence sur le diagramme de constellation.

Pour pallier à ce problème la boucle de Costas est utilisée.

Ouvrir « **qpsk3.grc** » vous verrez cette boucle de Costas faire ses miracles.

Dernier problème très courant et tout aussi gênant en communication, les trajets multiples. Ces trajets multiples

résultent du fait que dans la plupart des environnements de communication, nous n'avons pas un seul chemin pour que le signal passe de l'émetteur au récepteur. Comme le montre le dessin cicontre, à chaque fois qu'un objet réfléchit le signal, un nouveau chemin peut être établi entre l'émetteur et le récepteur. Des surfaces telles que des bâtiments, des panneaux, des arbres, des personnes, des chats, etc. peuvent réfléchir les ondes. Chacune des ondes, directes ou réfléchies apparaîtra au niveau du récepteur décalés dans le temps suivant de la longueur du trajet parcouru. Leur addition au récepteur provoque des interférences, à la fois constructive et destructive.



Il est possible de simuler ce problème de canal dans « **qpsk3.grc** ». Dans « Channel Model », régler « Taps = taps » Pour corriger ce comportement, on utilise un égaliseur.

L'égaliseur permet de compenser les distorsions qui sont apparues en raison des trajets multiples et de retrouver le signal émis.

Vous pouvez voir l'effet de l'égaliseur dans le programme « qpsk4.grc ».

Pour démoduler un signal issu d'un canal réel, tous les problèmes suivants peuvent être réglés :

- Synchronisation temporelle
- Compensation d'une dérive en fréquence
- Egalisation en cas de trajets multiples

Le seul problème impossible à régler est le bruit susceptible d'apparaître.