TELECOM205 - Projet de synthèse : système de communications
D4: Network simulation and global performance

Vincent, Antonin

Contents

1 Calcul du rejection rate

1.1 Look up table

Il s'agit ici de trouver pour différentes constellations (BPSK, 8QAM et 16QAM) et différents canaux le SNR minimum afin d'atteindre un FER donné.
Trouvons d'abord une relation entre le BER et le FER afin de réutiliser les courbes tracées dans le D1.

Notes : Toutes les courbes pour les 3 canaux et les 3 constellations sont disponibles en fichier .fig sur le gitlab dans le fichier d1 puis dans le fichier fig. Ces figures s'ouvrent sur matlab en utilisant openfig('nom du fichier')

Soit M la taille de la constellation, N la taille des paquets. Avoir un fenêtre transmise revient à dire que les N symboles sont bien transmis donc en terme de probabilité cela revient à $1 - FER = (1 - SER)^N$ avec le SER le Symbole Error Rate (puissance N car le fait que un symbole soit bon est indépendant des autres). On considère des FER faibles (dans notre cas $\text{FER} = 10^{-2}$), ce qui est logique au vu de l'utilisation (on veut le moins d'erreur possible en transmission). On peut donc approximer par $1 - \text{FER} = 1 - N\text{SER}$ avec un développement limité.
On a

$$SER = \frac{\text{nb err symb}}{\text{nb total symb}} \;\; et \;\; BER = \frac{\text{nb err bits}}{\text{nb total bits}}$$

Pour créer les symboles à partir des bits, on utilise un codage Gray, ce qui signifie qu'un seul bit change entre deux symboles voisins. On a donc une erreur symbole $\equiv$ une erreur bit ce qui revient à dire d'après les expressions du BER et du SER que

$$\text{BER} = \frac{\text{SER}}{log_2(M)}$$

car nb symb $= \frac{\text{nb bits}}{log_2(M)}$
On a donc $\boxed{\text{FER} = N\text{SER} = Nlog_2(M)\text{BER}}$

De par cette relation on va trouver pour chaque modulation et en connaissant le FER, le BER correspondant. On aura donc pour $\text{FER} = 10^{-3}$ et $N = 100$:

- BER de 10^{-4} pour une BPSK
- BER de 3.33×10^{-5} pour une 8QAM
- BER de 2.5×10^{-5} pour une 16QAM

Pour rappel, voici un exemple de courbe sur laquelle on va prendre les mesures:

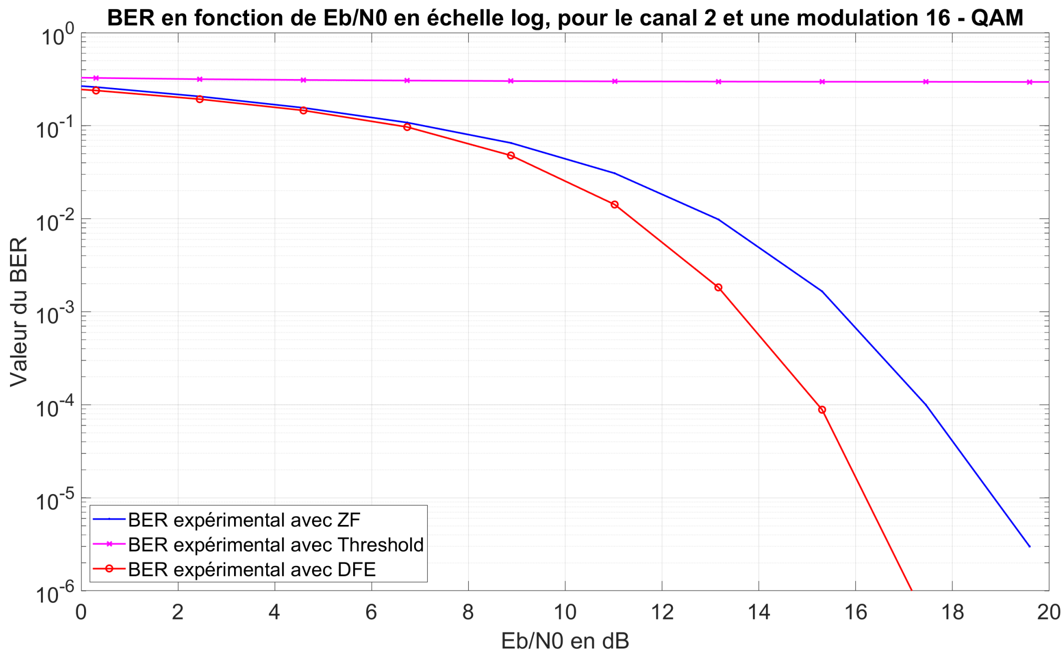

Figure 1: BER en fonction du SNR pour le canal2, en 16 QAM? avec différents equalizer

Une lecture graphique va donc donner les valeurs suivantes que nous avons insérées dans des listes sur Matlab (pour les trois channels considérés dans l'énoncé avec des equalizers DFE ou ZF, valeurs en dB) :

```
    if(strcmp(rx,'zf') == 1)
        SNR_min_bpsk = [8.9 13.6 21];%minimum Es/N0 for each channel (3-length vector);
        SNR_min_8qam = [11.35 16.2 24];%minimum Es/N0 for each channel (3-length vector);
        SNR_min_16qam = [13.5 18.3 25.8];%minimum Es/N0 for each channel (3-length vector);
    end

    if(strcmp(rx,'dfe') == 1)
        SNR_min_bpsk = [8.62 11.14 13.6];%minimum Es/N0 for each channel (3-length vector);
        SNR_min_8qam = [11.56 13.85 16.5];%minimum Es/N0 for each channel (3-length vector);
        SNR_min_16qam = [13.1 15.7 18.7];%minimum Es/N0 for each channel (3-length vector);
    end
```

1.2 Calcul du taux de réjection

Après avoir complété les valeurs des minimum Es/No il reste à générer le taux de rejection.
Tout d'abord, $Es_{max} = P_{max} \times Ts$, soit en dB : $Es_{max} = -53dBm$ (avec $P_{max} = 20dBm$ et $Ts = 0.05\mu s$)
Puis pour le bruit, on a $N_0 = -174dBm/Hz$ avec une bande $B = 30MHz$ soit un bruit total de -99,2dBm (noté N_{0b}) donc en dB on a $\frac{E_s}{N_{0b}}_{max} = 46.2dB$.

Reste alors à compléter le code, notamment dans le calcul du SNR_rx_max. Pour ça on va calculer l'atténuation en champ libre (Friis) suivant $20log_{10}(\frac{\lambda}{4\pi d})$ avec $\lambda = \frac{c}{f0}$ ($f0$ = 2.4GHz). On va alors avoir $SNR\_rx\_max = 20log_{10}(\frac{\lambda}{4\pi d}) + P_{max} - N0_b$.
On a donc :

```

xx = (-1 + 2*rand(1, K(kk)))*1e3;
% uniformly-distributed x-axis in a square of semi length 1 (K(kk)
% lenght vector
yy = (-1 + 2*rand(1, K(kk)))*1e3;
% uniformly-distributed y-axis in a square of semi-length 1 (K(kk)
% length vector);

d2 = xx.^2+yy.^2;%% square-distance from the origin
a2 = min(1, lambda^2./(4^2*pi^2.*d2));% square magnitude attenuation in Friis equation
a2_dB = 10*log10(a2);
SNR_rx_max = a2_dB + Pmax - Noise; %calculate ??? : SNRmax at TX in dB.
```

1.3 Analyse des courbes

Une fois la fonction complétée, on peut tracer les taux de rejections en fonction du nombre d'utilisateurs pour les différents R_l (40kbits/s, 400kbits/s, 4Mbits/s, 40Mbits/s).

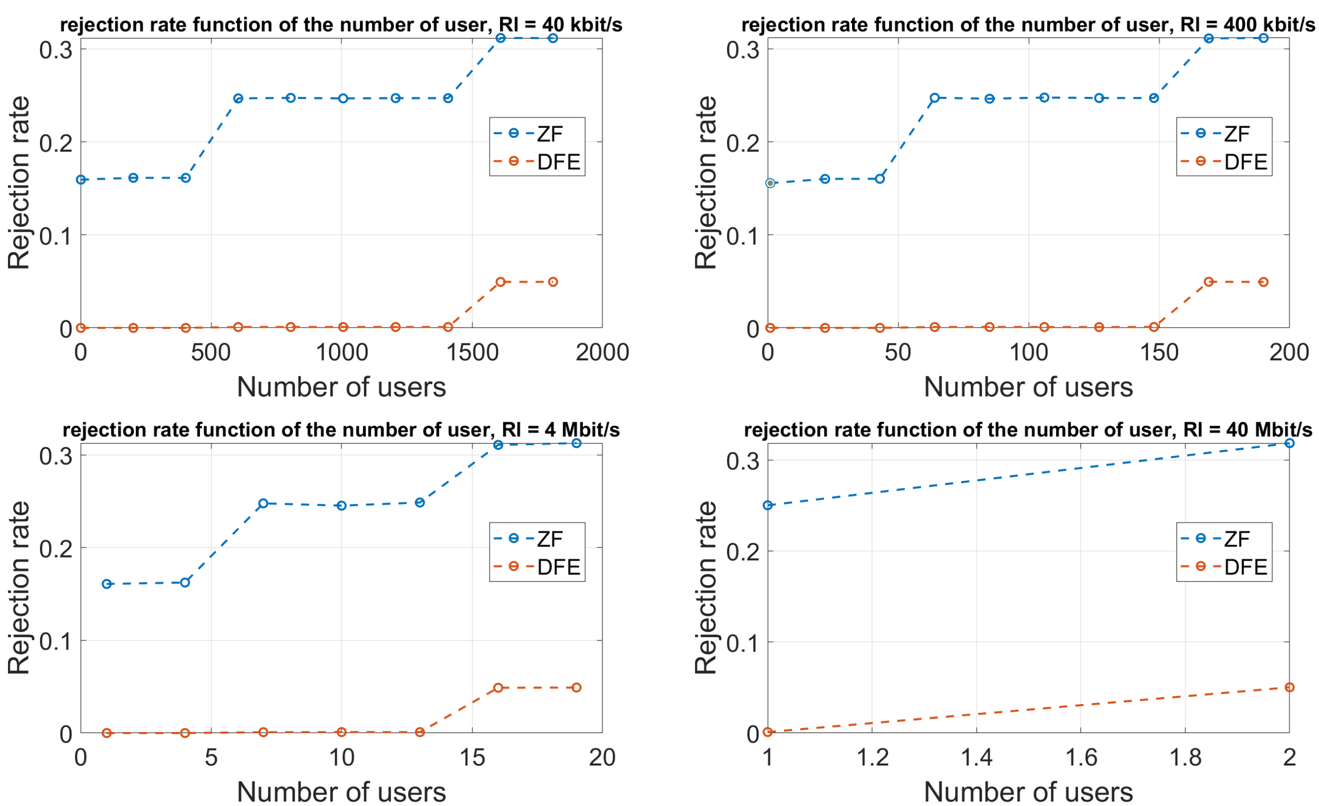

Figure 2: Taux de réjection en fonction du nombre d'utilisateurs pour différents data rate et equalizers (DFE et ZF)

On peut faire les remarques suivantes:

- Le profil des courbes ZF est en "marche d'escalier". En effet, on vise un FER constant et pour un même FER une 16 QAM demande plus de SNR qu'une 8 QAM qui demande elle même plus de SNR qu'une BPSK. Or, pour savoir si une station passe il faut voir si son SNR est inférieur ou non à un SNR seuil. De ce fait, avec les constellations les plus demandeuses de puissance, on va plus dépasser le seuil et ainsi limiter la transmission, ce qui va augmenter le rejection rate. Pour ce qui est du passage entre différentes constellations, cela peut s'expliquer par la partie du code suivante :

```
    SNR_min = SNR_min_16qam; % ZF or DFE/16QAM: channel 1, channel 2, channel 3

     if(R*Ts*K(kk)<3)
            SNR_min = SNR_min_8qam;
        end % ZF or DFE/8QAM: channel 1, channel 2, channel 3

    if(R*Ts*K(kk)<1)
        SNR_min = SNR_min_bpsk;
    end % ZF or DFE/BPSK: channel 1, channel 2, channel 3

```

De manière plus complète, en augmentant le nombre d'users, le nombre de bits par symboles nécessaire augmente : là où pour peu d'users 1 bits/symbole suffisait (BPSK) avec le data rate demandé, en augmentant le nombre d'users, on augmente l'utilisation de la bande et il faut plus de bits/symbole. Ainsi avec un nombre d'users croissant on va passer de BPSK à 8 QAM puis à 16 QAM, ce qui provoque des SNR nécessaires de plus en plus élevé, donc dépassement de seuil, donc augmentation du rejection rate

- Le rejection rate maximum et le profil des courbes est le même pour les 4 configurations (4 data rate différents), car on diminue le nombre d'users (on a data rate $\times$ nb user $=$ constante). On a certes moins d'users mais des spécificités de performances plus importantes

- Le DFE est plus performant que le ZF : on a besoin de moins de SNR pour atteindre des performances en FER identiques, ce qui fait qu'on va plus rarement passer au dessus du seuil et ainsi atteindre des rejections rate beaucoup plus faibles.

2 DF ou QF

On va s'intéresser au débit maximum pour chaques configurations. On module en OOK dans la fibre.

Pour le modèle DF (Decode and Forward) la station de base récupère et décode tous les streams venant du noeud. Le débit maximal sera obtenu pour une modulation 16 QAM : elle donne un facteur 4 contre facteur 1 pour la BPSK et 3 pour la 8 QAM (via log_2 de la taille de la constellation) avec un temps symbole de T_s. Donc il faudra un débit total de $4 \times Fs$ soit $4/(0.05 \times 10^{-6}) = 80Msymb/s = 80Mbits/s$ (car modulation OOK).

Pour le QF (Quantize and Forward), la station de base ne sample et quantize que le signal brut sur q bits/dimension réelle. On utilise les dimensions réelle et imaginaire pour coder (les QAM utilisent les deux) donc on aura en réalité $2q$ et pas seulement q. Donc pour un temps symbole de T_s ($= 0.05\mu s$) avec un cosinus surélevé de coefficient $\rho = 0.5$ on aura une fréquence maximale (via Shannon) de $30MHz$ ($= F_s(1+\rho)$). On obtient donc un débit maximal de : $30 \times 10^6 \times 2q = 2 \times 30e^6 \times 10 = 600Mbits/s$

Pour savoir si la fibre optique est un bottleneck, il va falloir connaître la portée de la fibre. En effet, on a pu voir dans le D3 que la distance de propagation maximale pour un rate donné est de $B^2 L \leq \frac{c}{2D\lambda^2}$ avec B le data rate de la fibre. Donc pour une fibre SSFM à 1550nm (D = 17 ps/nm/km) on a $B \leq \frac{6.06 \times 10^{10}}{\sqrt{L}}$. En fonction donc de la distance que l'on veut parcourir, le rate de la fibre optique peut être un élément bloquant. Or pour des distances de l'ordre de 100km, les études faites dans le D4 montraient que une fibre à 2.5Gbit/s suffisaient. La fibre optique n'est donc pas un 'bottleneck'. En réalité on peut utiliser plusieurs cellules sur une même fibre (plus d'une dizaine pour le modèle DF).