

L3 MI / Systèmes de Communications

TP transmission en bande de base

Récupérez sur moodle le zip contenant les fichiers du TP et dézippez-le dans votre répertoire de travail habituel ¹.

Ce TP met en oeuvre les principes de la transmission en bande de base, dans le cadre d'un canal acoustique. L'émetteur sera un haut-parleur, le récepteur sera un microphone. Le matériel étant peu adapté à une transmission en bande de base, le signal NRZ, unipolaire, modulera un bruit blanc, de sorte que la détection se fera sur la puissance du signal reçu.

Pour commencer, branchez le microphone et les haut-parleurs, ouvrez l'interface de réglage des paramètres audio et vérifiez ces derniers. Placez les deux haut-parleurs côte à côte, en face du micro, à 40 cm environ. L'un des haut-parleurs diffusera le signal de communication, l'autre ajoutera du bruit sur le canal, en plus du bruit ambiant. Pour éviter les réflexions du son sur la table, posez une plaque de mousse ou une écharpe entre le micro et les HP.

Important :

- Les figures utiles devront être d'une part enregistrées au format scilab (.scg), d'autre part exportées au format SVG. A chaque fois que vous enregistrez une figure, précisez son nom dans votre compte-rendu.
- Les questions minimales que doit traiter votre compte-rendu sont en gras dans le texte.
- A la fin, compressez toutes vos figures dans un fichier zip et déposez celui-ci dans l'espace de dépôt prévu sur moodle.

1 Transmission binaire

- a) Lisez le programme *TP_BandeDeBase.sce* et la fonction *recoit* du fichier *recepteur.sci*.

Lisez et exécutez *test_micro.sce*. **Pourquoi la fonction *recoit* applique-t-elle un filtrage passe-haut de fréquence de coupure 500Hz au signal reçu ?**

- b) Lisez la fonction *filtrage_adapte* du fichier *recepteur.sci*.

Dans une transmission en bande de base avec des signaux NRZ rectangulaires, le filtrage adapté consiste simplement à faire une moyenne glissante du signal reçu, la moyenne étant calculée sur la durée T d'un symbole. Ici, le signal de transmission étant de moyenne nulle, on moyenne son carré, ce qui donne sa puissance instantanée. Si le canal n'introduisait aucune dégradation, la puissance vaudrait $i^2 V_0^2 / 3$ pour un symbole NRZ à $i V_0$ ($0 \leq i \leq M-1$), le facteur $1/3$ étant lié à la modulation du bruit blanc à l'émission. Le bruit du canal étant indépendant du signal émis, sa puissance s'ajoute à celle du signal.

Expliquez la dernière ligne de la fonction. A la fin, qu'obtient-on pour un niveau d'émission $i V_0$ ($0 \leq i \leq M-1$) ?

1. Il peut être nécessaire de rafraîchir la page moodle : assurez-vous que chargez bien la version 2018

c) Lancez le programme *TP_BandeDeBase.sce*. Au cours de l'exécution, une boîte de dialogue va apparaître, vous indiquant d'exécuter le script *canal.sh* dans un terminal². Ce script émet le signal de communication (10s) et un bruit de canal additionnel (en plus du bruit de la salle) sur les haut-parleurs et enregistre le son capté par le micro. Après un premier signal fort qui sert à la synchronisation, le son doit être diffusé avec un niveau modéré. Si ce n'est pas le cas, re-réglez le volume sonore et relancez *canal.sh* avant de cliquer sur "OK".

A la fin de l'exécution, le programme affiche

- sur une première figure, le signal émis, le signal reçu, le signal après filtrage adapté et l'échantillonnage de celui-ci, sur la base duquel le message binaire est détecté³ ;
- sur une seconde figure, chaque échantillon z sous forme d'un point d'abscisse z et d'ordonnée aléatoire⁴ ;
- dans la console scilab, le nombre de symboles émis, le rapport E_b/N_0 en décibels et la probabilité d'erreur empirique par symbole.

Si vous ne voyez pas des nuages de points bien distincts dans la seconde figure, relancez le programme en augmentant le volume des hauts-parleurs .

Enregistrez vos figures. Que représente la ligne rouge entre les nuages de points ? A quoi correspond son abscisse ?

Observez r et z sur la première figure, aux transitions entre des 0 et des 1 (notamment quand on a un seul 0 entre deux 1) : lors de l'émission d'un 0, que risque-t-il de se passer si l'échantillonnage n'est pas fait exactement au bon moment ?

d) On a vu en TD que pour une transmission NRZ M-aire en bande de base, la probabilité d'erreur par symbole s'exprime :

$$P_e = \frac{2(M-1)}{M} Q\left(\sqrt{\frac{6 \log_2(M) E_b}{(M^2-1) N_0}}\right)$$

où Q est une fonction décroissante, N_0 est la densité spectrale de puissance (constante) du bruit du canal et E_b est l'énergie par élément binaire. La formule qui s'applique ici est différente, mais chaque paramètre agit de manière similaire sur P_e .

Ici, l'énergie par élément binaire, avant modulation du bruit blanc, s'écrit :

$$E_b = \frac{V_0^2 T (M-1)(2M-1)}{6 \log_2(M)}$$

Sachant que M est fixé à 2 dans cette partie, sur quels paramètres du programme et du dispositif matériel (machine, microphone et enceintes) pouvez-vous agir (et dans quel sens) pour faire varier la probabilité d'erreur ?

Testez votre proposition sur les paramètres du programme (ne touchez pas au matériel), indiquez les résultats et enregistrez les figures

e) Revenez aux paramètres initiaux et refaites l'expérience plusieurs fois en faisant varier uniquement $P_{w_{dB}}$ (ne pas modifier votre configuration haut-parleur/micro). Pour chaque expérience,

- enregistrez les deux figures ;
- **indiquez dans votre compte-rendu les valeurs de $P_{w_{dB}}$, E_b/N_0 , la probabilité d'erreur et les noms des fichiers des figures ;**
- complétez les vecteurs adéquats du programme *results.sce*, en les ordonnant selon $P_{w_{dB}}$.

2. Dans ce terminal, vous devez évidemment vous placer dans le bon répertoire. Si le terminal affiche un avertissement "*alsa : under-run*", il vaut mieux relancer *canal.sh*

3. Zoomez sur un intervalle temporel de 0,1s environ pour mieux voir.

4. Notez que l'ordonnée ici n'a pas de signification, elle sert juste à différencier les points.

Essayez d'avoir des taux d'erreur empiriques entre 10^{-4} et 10^{-1} .

En prenant deux cas extrêmes, l'un où les nuages de points sont bien distincts, l'autre où ils sont confondus, décrivez et expliquez les figures et les taux d'erreurs mesurés.

Pourquoi ne peut-on pas, dans cette expérience, mettre en évidence des probabilités d'erreur empiriques de l'ordre de 10^{-5} ?

Lorsque vous avez assez de valeurs pour tracer des courbes, lancez le programme *results.sce*, qui affiche la probabilité d'erreur empirique en fonction de Pw_{dB} . Enregistrez votre figure. **Commentez.**

2 Transmission M-aire

A présent, vous allez fixer M à 4.

a) D'après la formule de E_b , par combien faut-il multiplier V_0 pour avoir le même E_b que dans le cas $M = 2$? Modifier en conséquence la valeur de V_0 dans le programme.

b) Refaites les mêmes expériences que dans la question 1.e avec les mêmes Pw_{dB} , sans oublier de remplir *results.sce* (décommentez les lignes 6, 7 et 14). Comparez les courbes d'erreur pour $M = 4$ et $M = 2$ et expliquez, à la lumière des résultats du TD.

c) Dans ce qui précède, la probabilité d'erreur affichée était la probabilité d'erreur par symbole, qui est la même que la probabilité d'erreur binaire en l'absence de codage de Gray.

- Dans les fichiers *emetteur.sci* et *recepteur.sci*, remplacez les appels à *int2bin* et *bin2int* par des appels à *int2bin_Gray4* et *bin2int_Gray4*, respectivement.
- Refaites les expériences du paragraphe b et **notez de combien est réduite la probabilité d'erreur empirique. Comparez avec la théorie (voir TD).**