

Travaux Pratiques de Transmissions numériques

Première année Télécommunications et réseaux

2015-2016

Consignes

Le travail à réaliser durant les trois séances de TP se compose de 5 parties. Pour chacune d'elle les questions posées permettront de guider votre travail.

Nous vous demanderons de fournir un rapport dans lequel devront figurer :

- les calculs de TEB réalisés,
- les résultats de vos simulations,
- vos commentaires sur les résultats obtenus.

Les commentaires sur vos résultats devront être étayés avec des arguments provenant de ce qui a été vu en cours et TDs, éventuellement de ce que vous aurez trouvé dans des livres ou sur des sites internet que vous devrez alors citer.

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

Les figures incluses dans vos rapports devront toutes comporter un titre, des labels sur leurs axes ainsi qu'une légende si plusieurs courbes sont tracées sur la même figure.

Attention soyez précis et clairs dans vos explications, utiliser les bons termes techniques (ceux utilisés lors du cours de transmissions numériques), pas d'à peu près.

Les rapports intitulés Prénom_nom.pdf devront être envoyés par mail à l'adresse suivante : nathalie.thomas@enseeiht.fr avant le 3/6/2016.

I. Chaîne de transmission pour modulation PAM à 2 états, mise en forme rectangulaire

Emetteur :

- 1- Générer une suite de bits 0, 1 équiprobables et indépendants
- 2- Les transformer en une suite de symboles $a_k \in \{-1, +1\}$.
- 3- Générer une suite d'impulsions de Dirac espacées de T_s et pondérées par les symboles a_k . La période symbole T_s sera constituée de n échantillons espacés de T_e . Par souci de simplification on utilisera $T_e=1$.
- 4- Mettre en forme avec une forme d'onde rectangulaire de durée T_s . On prendra une forme d'onde rectangulaire $h(k)$ de puissance égale à 1, c'est-à-dire :
$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} |h(k)|^2 = 1$$

Canal :

On ajoutera un bruit blanc et gaussien (canal AWGN). On utilisera plusieurs puissances de bruit (σ_n^2) que l'on calculera en fonction des rapports signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) souhaités de la manière suivante (voir annexe 1) :

$$(\sigma_n)^2 = \frac{\sum_{k=-\infty}^{+\infty} |h(k)|^2 \sigma_a^2}{2 \log_2(M) \frac{E_b}{N_0}}$$

où M et σ_a^2 représentent respectivement le nombre et la variance des symboles émis.

Récepteur :

On utilisera un filtre adapté en réception et qui permet de respecter le critère de Nyquist.

1- Sans bruit :

1-1. Observer les diagrammes de l'œil en sortie du filtre de mise en forme et en sortie du filtre adapté. Expliquer les tracés obtenus, notamment la différence observée entre les deux diagrammes de l'œil. Déterminer l'instant optimal d'échantillonnage en expliquant votre choix.

1-2. Implanter l'échantillonneur optimal ainsi que la décision puis vérifier, en comparant les bits après décision aux bits émis que le nombre d'erreur est bien nul.

2- Ajouter le bruit. Pour des valeurs de E_b/N_0 allant de 0dB à 6dB par pas de 1 dB :

2-1. Donner l'expression du TEB théorique de la liaison.

2-2. Tracer le TEB estimé de la liaison en utilisant l'instant optimal d'échantillonnage. Comparer ce tracé à celui du TEB théorique.

II. Chaîne de transmission pour modulation PAM à 2 états, effet d'un filtrage non adapté.

Utiliser une mise en forme rectangulaire à l'émission de durée T_s . Utiliser un filtre de réception rectangulaire de durée $T_s/2$.

1- Visualiser le diagramme de l'œil en sortie du filtre de réception. Expliquer la forme obtenue.

2- Le critère de Nyquist est-il respecté ? Quel est l'instant optimal d'échantillonnage ? Justifiez vos réponses.

3- Calculez le TEB théorique de la liaison.

4- Tracer le TEB simulé en fonction de E_b/N_0 pour des valeurs allant de 0dB à 4dB par pas de 1 dB.

a. Comparer le TEB simulé au TEB théorique de la liaison

b. Comparer le TEB simulé de cette liaison avec celui simulé dans la partie I (filtres de mise en forme et de réception rectangulaires de durée T_s). Expliquer la différence observée.

III. Chaîne de transmission pour modulation PAM à 2 états, mise en forme en racine de cosinus surélevé

Réaliser une mise en forme en racine de cosinus surélevé (SRRCF) à la place de la mise en forme rectangulaire. Placer en réception un filtre adapté et qui permet de respecter le critère de Nyquist.

1- Sans bruit :

1-1. Observer les diagrammes de l'œil en sortie du filtre de mise en forme et en sortie du filtre adapté. Expliquer les tracés obtenus, notamment la différence observée entre les deux diagrammes de l'œil. Déterminer l'instant optimal d'échantillonnage en expliquant votre choix.

1-2. Implanter l'échantillonneur optimal ainsi que la décision puis vérifier, en comparant les bits après décision aux bits émis que le nombre d'erreur est bien nul.

1-3. On constate un retard entre la suite de bits reçue et la suite de bits émis. Expliquer quelle est la cause de ce retard et comment on peut en déterminer la valeur.

2- Avec bruit. Pour des valeurs de E_b/N_0 allant de 0dB à 6dB par pas de 1 dB :

2-1. Donner le TEB théorique de la liaison.

2-2. Tracer le TEB estimé de la liaison en utilisant l'instant optimal d'échantillonnage. Le comparer au TEB théorique.

2-3. Tracer le TEB estimé de la liaison en utilisant un instant d'échantillonnage non optimal et le comparer au TEB obtenu en considérant l'instant optimal d'échantillonnage. Expliquer le résultat obtenu.

3- Influence du roll off (sans bruit)

- observer la réponse impulsionnelle et la fonction de transfert du filtre en racine de cosinus surélevé pour différentes valeurs du roll off. Commenter les résultats obtenus.

- pour différentes valeurs du roll off des filtres d'émission et de réception (!! en conservant les deux identiques), observer le diagramme de l'œil en sortie du filtre de réception. Expliquer les différences observées.

Le but est de mettre en évidence les avantages/inconvénients d'un roll off faible ou élevé.

4- Influence d'un canal idéal à bande limitée (sans bruit)

On introduira dans la chaîne de transmission un canal idéal à bande limitée. On observera le diagramme de l'œil obtenu en sortie du filtre de réception :

- dans le cas où la bande du canal est supérieure à la bande du signal émis (la bande du signal émis est identique à la bande de $H(f)H_r(f)$, où $H(f)$ et $H_r(f)$ sont respectivement les réponses en fréquence des filtres d'émission et de réception)
- dans le cas où la bande du canal est inférieure à la bande du signal émis.

On expliquera les résultats obtenus.

IV. Chaîne de transmission pour modulation PAM à 2 états, mise en forme rectangulaire, canal avec ISI

Emetteur :

1- Générer une suite de bits 0, 1 équiprobables et indépendants

2- Les transformer en une suite de symboles $a_k \in \{-1, +1\}$.

3- Générer une suite d'impulsions de Dirac espacées de T_s et pondérées par les symboles a_k . La période symbole T_s sera constituée de n échantillons espacés de T_e . Par souci de simplification on utilisera $T_e=1$.

4- Mettre en forme avec une forme d'onde rectangulaire de durée T_s . On prendra une forme d'onde rectangulaire $h(k)$ de puissance égale à 1, c'est-à-dire : $\sum_{k=-\infty}^{+\infty} |h(k)|^2 = 1$

Canal :

On considèrera le canal multitrajets suivant : un trajet direct (coefficient d'atténuation = 1, retard = 0) + un trajet réfléchi (coefficient d'atténuation = 0.5, retard = T_s). Le bruit est un bruit blanc gaussien additif. On utilisera plusieurs puissances de bruit que l'on calculera en fonction d' E_b/N_0 .

Récepteur :

On utilisera un filtre adapté au filtre de mise en forme en réception.

1- Tracer le diagramme de l'œil en sortie du filtre adapté. On expliquera d'où proviennent les valeurs de l'ISI observée.

2- Calculez l'expression du TEB théorique.

2- Tracer le TEB théorique et le TEB simulé de la liaison en fonction de E_b/N_0 pour des valeurs allant de 0dB à 4dB par pas de 1 dB. On les comparera au TEB obtenu sur canal idéal, i.e. canal AWGN.

V. Chaîne de transmission passe-bas équivalente à une modulation QPSK

Emetteur :

- 1- Générer une suite de bits 0, 1 équiprobables et indépendants
- 2- Les transformer en une suite de symboles QPSK (on les notera d_k).
- 3- Générer une suite d'impulsions de Dirac espacés de T_s et pondérés par les symboles QPSK. La période symbole T_s sera constituée de n échantillons espacés de T_e . Par souci de simplification on utilisera $T_e=1$.
- 4- Réaliser une mise en forme en racine de cosinus surélevé (SRRCF).

Canal :

On ajoutera un bruit blanc et gaussien (canal AWGN). On utilisera plusieurs puissances de bruit que l'on calculera en fonction des rapports signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) souhaités de la manière suivante (voir annexe 1) :

$$(\sigma_{nI})^2 = (\sigma_{nQ})^2 = \frac{\sum_{k=-\infty}^{+\infty} |h(k)|^2 \sigma_d^2}{2 \log_2(M) \frac{E_b}{N_0}}$$

où σ_{nI}^2 et σ_{nQ}^2 représentent les variances des voies en phase et en quadrature du bruit passe-bas équivalent au bruit canal, M et σ_d^2 représentent respectivement le nombre et la variance des symboles émis.

Récepteur :

On utilisera un filtre adapté en réception et qui permet de respecter le critère de Nyquist.

Pour des valeurs de E_b/N_0 allant de 0dB à 6dB par pas de 1 dB :

- 2-1. Donner le TEB théorique de la liaison.
- 2-2. Tracer le TEB estimé de la liaison en utilisant l'instant optimal d'échantillonnage. Le comparer au TEB théorique.

VI. Annexe 1 : variance du bruit à introduire dans les simulations

VI.1. Modulation PAM

$$(\sigma_n)^2 = \frac{N_0}{2} F_e = \frac{E_s}{2 \frac{E_s}{N_0}} F_e = \frac{P_s T_s}{2 \frac{E_s}{N_0}} F_e,$$

où P_s est la puissance du signal reçu :

$$P_s = \frac{\sigma_a^2}{T_s} \int_{\mathbb{R}} |H(f)|^2 df = \frac{\sigma_a^2}{T_s} \int_{\mathbb{R}} |h(t)|^2 dt \rightarrow \frac{\sigma_a^2}{T_s} \sum_k T_e |h(kT_e)|^2,$$

pour des symboles indépendants équiprobables et à moyenne nulle.

D'où :

$$(\sigma_n)^2 = \frac{\sigma_a^2 \sum_k |h(kT_e)|^2}{2 \frac{E_s}{N_0}}$$

V.1. Modulation QPSK

$$(\sigma_{nI})^2 = (\sigma_{nQ})^2 = N_0 F_e = \frac{E_s}{N_0} F_e = \frac{P_s T_s}{N_0} F_e,$$

où P_s est la puissance du signal reçu, soit pour des symboles indépendants équiprobables et à moyenne nulle :

$$P_s = \frac{\sigma_d^2}{2T_s} \int_{\Re} |H(f)|^2 df = \frac{\sigma_d^2}{2T_s} \int_{\Re} |h(t)|^2 dt \rightarrow \frac{\sigma_d^2}{2T_s} \sum_k T_e |h(kT_e)|^2,$$

D'où :

$$(\sigma_{nI})^2 = (\sigma_{nQ})^2 = \frac{\sigma_d^2 \sum_k |h(kT_e)|^2}{2E_s/N_0}$$