Téléinformatique & Protocoles
TD3 : Codage et modulation

Corrigé

Cf photocopie du corrigé, sauf pour la question III qui a une correction fausse et la question V dont la réponse pouvait sembler un peu court si on ne sait pas que la modulation MIC utilise 8 bits pour ses échantillons.

Exercice III

Soit la suite de bits : 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1. Représentez les signaux transmis en code bipolaire simple, en code BHD1, et en BHD2.

Réponse

Le principe des codages bipolaires est le suivant

Soit une suite de données $d_n = \{d_0, d_1, d_2, ...,\}$ où chacun des d_i est soit 0, soit 1.

Cette suite de données doit être codé en bipolaire. Donc on doit produire un signal codé : $c_n = \{c_0, c_1, c_2, ...,\}$ où chacun des c_i est soit -ν, soit 0, soit ν.

bipolaire simple

- si $d_i = 0$ alors $c_i = 0$
- si $d_i = 1$ et que $j < i$ est le dernier échantillon avant i pour lequel $d_j = 1$ alors $c_i = -c_j$.

C'est un code qui a une valeur moyenne nulle, mais qui peut avoir de longues suites de 0.

codages BHDn

L'objectif est d'améliorer le code bipolaire en évitant les successions de bits à 0 tout en gardant une valeur moyenne nulle pour le signal.

Définition du codage BHDn par le Macchi :

> Dans le cas d'une longue suite de zéros, des suites spéciales de remplissage contenant des symboles 0 et $\pm\nu$ sont inséées à la place de ces zéros. Pour permettre au récepteur d'interpréter correctement le signal reçu, les symboles $\pm\nu$ supplémentaires sont introduits en violation de la loi d'alternance des signes. Un code BHD est dit d'ordre n s'il évite toute suite de symboles 0 de longueur supérieure à n.

Plus précisément, supposons que la donnée à transmettre au pas précédent était un 1.

S'il faut envoyer de nouveau un 1 alors le code devra être l'opposé du code au pas précédent.

S'il faut envoyer un 0 alors on ne peut rien dire encore.

Tout dépend de la valeur des n bits de données suivants.

- Si les $n + 1$ bits ne sont pas tous à 0 alors on continue le codage comme en bipolaire simple.
- Si les $n + 1$ bits sont tous a 0, alors les n bits suivants seront codé 0 mais le $n + 1$-ieme sera codé $+\nu$ ou $-\nu$ de manière à ce que ce code soit le *même* que le dernier code non-nul (violation de l'alternance)

Après une violation de l'alternance :

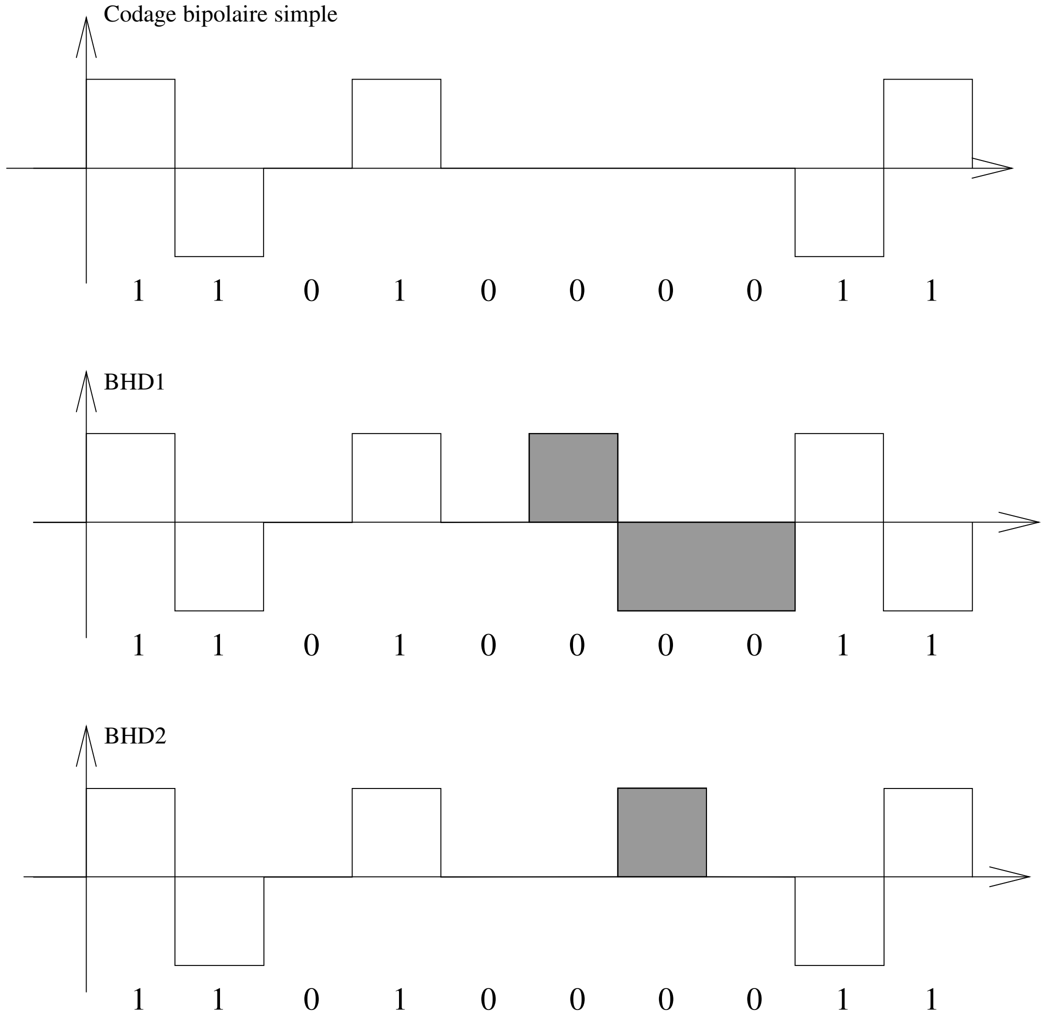

FIG. 1: La suite 1101000011 codé respectivement en codage bipolaire simple, en BHD1 et BHD2. Les plages grisés représentent des violations de l'alternance.

- Soit le bit suivant est un 1 et alors il devra être codé avec le signe opposé de celui de la violation d'alternance.
- Soit le bit suivant est un 0 et on ne peut encore rien dire.
  - Si les $n+1$ bits ne sont pas tous à 0 alors on continue le codage comme en bipolaire simple.
  - Si les $n+1$ bits sont tous a 0, alors le bit suivant sera codé avec le signe opposé à celui de la violation d'alternance les $n-1$ bits suivants seront codé 0 mais le $n+1$-ieme sera codé avec le même signe que le premier (nouvelle violation pour indiquer que la suite de 0 continue.)

Algorithme indigeste pour le codage BHDn (Pas pour les étudiants, mais juste pour fixer les idées)

- si $((d_{i-1} == 1)\&\&(d_i == 1))$ alors $(c_i \leftarrow -c_{i-1})$.
- sinon si $((d_{i-1} == 1)\&\&(d_i == 0))$ alors
  - si $((\exists k \in [i, i+n]))$ $(d_k == 1)$ alors (je prend le premier de ces k) $(\forall j \in [i, k-1])$ $(c_j \leftarrow 0)$ et $(c_k \leftarrow -c_{i-1})$
  - sinon si $((\forall k \in [i, i+n])$ $(d_k == 0))$ alors $(\forall j \in [i, i+n-1])$ $(c_j \leftarrow 0)$ et $(c_{i+n} \leftarrow c_{i-1})$ (violation d'alternance)
- sinon si $((d_{i-1} == 0)\&\&((\forall k \in [i-1, i-n-1])$ $(d_k == 0)))$ (il y a déjà eu au moins une violation) alors
  - si $((\exists k \in [i, i+n])$ $(d_k == 1))$ alors (je prends le premier de ces k) $(\forall j \in [i, k-1])$ $(c_j \leftarrow 0)$ et $(c_k \leftarrow -c_{i-1})$.
  - sinon si $((\forall k \in [i, i+n])$ $(d_k == 0))$ alors $(c_i \leftarrow -c_{i-1})$ et $(\forall j \in [i+1, i+n-1])$ $(c_j \leftarrow 0)$ et $(c_{i+n} \leftarrow c_i)$ (nouvelle violation)

Algorithme indigeste pour le décodage BHDn

- si $(c_i == 0)$ alors $(d_i \leftarrow 0)$.
- Sinon si $((c_i == \pm\nu)\&\&((n == 1)\|((n > 1)\&\&(\forall j \in [i+1, i+n-1]\ c_j == 0)))\&\&(c_{i+n-1} == c_i))$ (violation d'alternance) alors $(\forall j \in [i, i+n])$ $(d_j \leftarrow 0)$
- Sinon $(d_i \leftarrow 1)$

Exercice V

Soit une ligne téléphonique dont la bande passante est $[300, 3400Hz]$.

1. Quelle est la fréquence d'échantillonnage minimale que l'on doit choisir si l'on veut numriser un signal analogique dont la bande passante est identique celle du support de transmission ?
2. Même question pour $f_{max} = 4000Hz$.
3. Quel temps sépare deux échantillons consécutifs du signal ?
4. Quel doit être le débit binaire d'une liaison transmettant le signal numérisé d'une liaison téléphonique si l'on utilise la modulation MIC et si l'on prend 4000 Hz comme fréquence maximale du spectre ?

Réponse

1. $f_{ech} = 2 \cdot 3400 = 6800Hz$
2. $f_{ech} = 2 \cdot 4000 = 8000Hz$
3. $T_{ech} = 1/8000 = 125\mu s$
4. La modulation MIC code les échantillons sur 8 bits, donc le débit binaire $= 8000 \cdot 8 = 64000 bit/s$