

CORRIGE CONTROLE ECRIT COMMUNICATIONS NUMERIQUES

QUESTIONS DE COMPREHENSION (type QCM – questions à choix multiples (5 points))
(les commentaires n'étaient pas demandés)

1. La transmission hertzienne et le stockage sur disque de l'information numérique ...

A : présentent des modèles similaires, les problèmes étant résolus de la même façon.

B : ~~sont deux problèmes distincts avec leurs solutions adaptées.~~

1 pt Réponse : A (canal de transmission et support de stockage ont les mêmes modèles : bruit et filtrage)

2. Quand une liaison physique électrique est incapable de transmettre le courant continu et les variations lentes (« fréquences faibles »), quel type de codage pourrait être employé ?

A : un codage AMI (ou HDB3)

B : ~~un codage NRZ~~

1 pt Réponse : A (la DSP est nulle en zéro, faible au voisinage de 0)

3. Une compression d'image faite par le procédé JPEG ...

A : ~~restitue l'image d'origine après décompression.~~

B : provoque une perte irréversible d'information.

1 pt Réponse : B (à cause de l'opération de quantification)

4. Quand un correcteur d'erreurs a achevé son processus de correction,

A : ~~on sait s'il y a des erreurs résiduelles.~~

B : on ne sait pas s'il y a des erreurs résiduelles.

1 pt Réponse : B (aucun moyen de savoir, le correcteur fournit un message réputé correct)

5. L'opération de multiplexage inverse ...

A : permet de distribuer le débit d'une source sur des canaux à plus faibles débits.

B : ~~permet de distribuer aux destinataires de l'information préalablement multiplexée.~~

1 pt Réponse : A (c'est la définition)

QUESTIONS D'ASSIMILATION (type QRC – questions à réponses courtes : 1 à 3 lignes) (10 points)

6. Quelles sont les opérations pratiquées sur le signal et/ou sur l'information numérique qui permettent d'affirmer que l'influence des perturbations sera bien moins importante en communications numériques qu'en communications analogiques (pour lesquelles, on transmet une fonction continue du temps, à variations continues et à valeurs réelles) ?

2 pts Réponse : il y a régénération du signal suite au passage sur le canal ou sur le support ; il y a possibilité de détection d'erreurs conduisant à demande de répétition(BEC) ou correction (FEC). En com. analogiques, aucune de ces deux opérations n'est possible.

7. Quel est l'avantage et l'inconvénient d'utiliser une modulation QAM avec un grand nombre d'états ?

2 pts Réponse : avantage = permettre un débit binaire plus grand pour un canal de bande passante donnée ; inconvénient = plus grande sensibilité au bruit car états d'amplitude/phase plus proches les uns des autres

8. Quand on fait une concaténation de deux codes correcteurs, un entrelacement est toujours prévu entre les deux codeurs (et décodeurs). Pourquoi à votre avis ?

2 pts Réponse : quand le premier décodeur produit des erreurs résiduelles ou engendre des erreurs (dépassement de la capacité), des paquets d'erreurs se forment (correspondant à la trame erronée par exemple) ; l'entrelacement initial au codage permet alors, par désentrelacement au décodage de disperser ces erreurs et ainsi permettre au deuxième décodeur de corriger « correctement »

9. Un code correcteur de type « convolutif » avec décodage à maximum de vraisemblance (algorithme de Viterbi) n'est jamais utilisé seul. Pourquoi ?

2 pts Réponse : car c'est justement un décodage « à maximum de vraisemblance » (voire un tirage au sort dans certaines situations (algo. de Viterbi), il y a donc une certaine probabilité qu'il ya ait des erreurs résiduelles, voire des erreurs engendrées

10. Le codage (ou algorithme) d'Huffman (codage statistique) n'est quasiment jamais utilisé seul dans un processus de compression, pourquoi ?

2 pts Réponse : car cet algorithme produit un codage compact si (et seulement si) les symboles consécutifs émis par la source le sont indépendamment les uns des autres : ce fait est théorique et quasiment jamais vérifié en pratique. Il faut donc faire précéder cet algorithme d'un (ou plusieurs) processus permettant de décorrélérer les symboles émis (transformée, codage des répétitions, dictionnaire, ...)

EXERCICES D'APPLICATIONS (10 points)

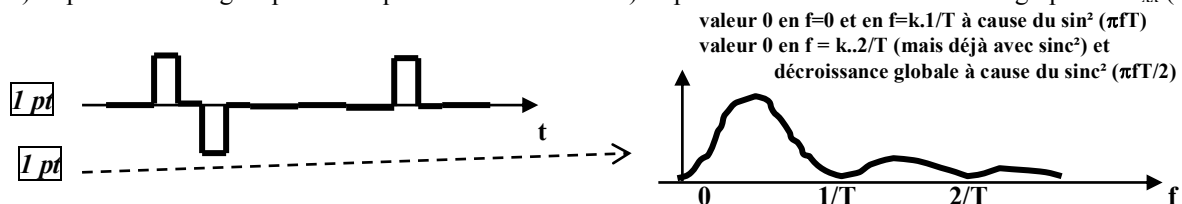
11. Le code dit « AMI/RZ », utilisé dans des réseaux numériques de transport (hiérarchie PDH) est codé de la manière suivante, pour chaque période T d'horloge de bit :

bit '0' → 0 (valeur nulle)

bit '1' → +V durant T/2 puis 0 ou -V durant T/2 puis 0 alternativement pour chaque '1'

Sa densité spectrale de puissance vaut : $S_{xx}(f) = C \cdot \text{sinc}^2(\pi f T / 2) \cdot \sin^2(\pi f T)$

a) Représenter ce signal pour la séquence '01100010' b) Représenter très sommairement le graphe de $S_{xx}(f)$



c) Donner une ou deux propriétés qui vous semblent être intéressantes

1 pt signal d'horloge explicite quand bit à '1' - spectre nul en 0 - spectre étroit (1^{er} zéro en 1/T)

d) Repérer une propriété qui pourrait être gênante et qui justifie l'emploi d'un dispositif d'embrouillage des séquences binaires préalablement au codage

2 pts signal nul quand suite de bits à '0', risque de perte de synchronisme si longue séquence

(c'est pour cela qu'on effectue un embrouillage – pour information : en réalité, pour la hiérarchie PDH, on effectue pas d'embrouillage mais on insère systématiquement un '1' dit « bourrage » à la suite de cinq '0' consécutifs, pour la même raison de risque de perte de synchronisme. Ce '1' est naturellement éliminé au décodage, après récupération d'horloge !)

12. On considère une source d'information consistant en une image « noir et blanc », définie par l'ensemble de ses points (« pixels »). Cette source produit 8 symboles différents par pixels (ce sont les 8 « niveaux de gris »). On représentera symboliquement ces niveaux de gris par les lettres suivantes : A-B-C-D-E-F-G-H.

Une étude statistique montre que ces différents niveaux de gris ne sont pas équiprobables, mais ont les probabilités respectives suivantes : 0.05 - 0.05 - 0.1 - 0.3 - 0.3 - 0.1 - 0.06 - 0.04

a) Réaliser un codage compact binaire de cette source en admettant que les pixels produits sont indépendants entre eux (ce qui est faux dans la réalité !)

2 pts méthode d'Huffmann : rangement des probabilités dans l'ordre décroissant (DECFCGABH) – combinaison des 2 probas les plus faibles (BH) – réarrangement des probabilités – et ainsi de suite : on obtient ainsi un arbre binaire que l'on code depuis la racine

résultat :

symbole	A	B	C	D	E	F	G	H
proba	0.05	0.05	0.1	0.3	0.3	0.1	0.06	0.04
code	0101	0010	011	10	11	000	0100	0011
longueur	4	4	3	2	2	3	4	4

Ou tout code équivalent (inversion 0 / 1, inversion symboles de même proba

b) Déterminer la longueur moyenne statistique des mots-code ainsi constitués.

2 pts $L = 4*0.05 + 4*0.05 + 3*0.1 + 2*0.3 + 2*0.3 + 3*0.1 + 4*0.06 + 4*0.04 = 2.6 \text{ bit/symbole}$

c) Ces images ont une résolution de 800*600 pixels. En déduire la capacité mémoire moyenne nécessaire pour stocker une image « noir et blanc à 8 niveaux de gris ».

1 pt $C = 800*600*2.6 = 1.248 \text{ Mbit}$

Pour comparer, un codage binaire naturel des 8 symboles A à H nécessiterait 3 bits et donc une capacité de 1.44 Mbit, soit un gain d'environ 13%, voilà pourquoi il est nécessaire de réaliser un pré-codage (« transformation »), voire opérer à une perte d'information de manière à améliorer ce gain : procédé JPEG !

CORRIGE CONTROLE ECRIT COMMUNICATIONS NUMERIQUES

QUESTIONS DE COURS (type QCM – questions à choix multiples, réponse A ou B seulement sur la copie)
(Les commentaires n'étaient pas demandés) (5 points)

1. Le codage NRZ implique une densité spectrale de puissance de valeur :

A : maximale au voisinage de $f = 0$

B : nulle au voisinage de $f = 0$

1 pt Réponse : A (la DSP est un sinus cardinal au carré, maximal en 0)

2. Lors d'une transmission binaire NRZ sur câble cuivre, le signal numérique :

A : est une fonction à deux états ($-V$, $+V$) entre lesquels il y a une transition brusque

B : est une fonction continue car le signal est toujours filtré

1 pt Réponse : B (tout canal physique est nécessairement limité en fréquence, d'où le filtrage systématique, ce qui empêche les transitions brusques nécessitant théoriquement une bande passante infinie)

3. La modulation QAM 8 permet de transmettre :

A : 3 bits par état de modulation

B : 8 bits par état de modulation

1 pt Réponse : A ('8' signifie 8 états, qui se codent donc avec 3 bits car $8=2^3$)

4. Le bruit qui s'ajoute au signal transmis :

A : ne modifie pas le message tant que le bruit reste en dessous du seuil de décision

B : provoque systématiquement des erreurs binaires, leur nombre étant en relation avec le rapport S/N

1 pt Réponse : B (le bruit est une fonction aléatoire dont la valeur instantanée est régie par une loi gaussienne centrée, donc, la probabilité pour que la valeur reçue passe « de l'autre côté » du seuil de décision n'est pas nulle, ce qui entraîne forcément une erreur binaire)

5. Une fois que la correction d'erreurs est effectuée,

A : on ne connaît pas avec assurance le nombre d'erreurs qu'il y avait

B : on connaît le nombre d'erreurs car on les a corrigées

1 pt Réponse : A (aucun moyen de connaître le nombre d'erreurs ni aucun moyen de savoir si on a dépassé le pouvoir maximum théorique de correction du code considéré)

QUESTIONS DE COURS (type QRC – questions à réponses courtes : 1 à 3 lignes) (10 points)

6. Pourquoi échantillonne-t-on systématiquement le signal numérique reçu ?

2 pts Réponse : pour réaliser la décision au meilleur instant (celui pour lequel le filtrage n'a pas modifié la valeur émise à cause de l'interférence intersymboles : théorème de Nyquist)

7. A quoi sert l'opération d'entrelacement utilisée conjointement avec les codes de correction d'erreurs ?

2 pts Réponse : elle sert à désorganiser les paquets d'erreurs : transforme les paquets d'erreurs en erreurs isolées, plus facilement corrigibles.

8. Quand on concatène deux codes correcteurs, l'un « dur » (de type cyclique RS par exemple), l'autre « mou » (de type convolutif), dans quel ordre les place-t-on à l'émission et pourquoi ?

2 pts Réponse : « dur » d'abord puis « mou » ensuite, car à la réception, on traite d'abord avec le correcteur « mou » en premier, mais comme c'est un code convolutif, il y a un risque de mauvaise correction et de génération de nouvelles erreurs, le correcteur « dur » qui est à la suite corrigera ces nouvelles erreurs éventuelles.

9. A quelle condition la compression utilisant la méthode d'Huffmann (ou équivalent) est-elle effectivement optimale ?

2 pts Réponse : la méthode d'Huffmann est optimale (au sens du premier théorème de Shannon) si et seulement si les symboles sont émis indépendamment les uns des autres (pas de loi de succession)

10. Si le débit d'une source, même après compression, demeure supérieur (voire très supérieur) à la capacité du canal de transmission, quelle solution reste-t-il ? (dernier cours !!!)

2 pts Réponse : il reste la solution du multiplexage inverse qui consiste à distribuer l'information sur plusieurs canaux

EXERCICES D'APPLICATIONS (aucun calcul n'est nécessaire)

(10 points)

11. Le code dit « biphase », utilisé par exemple en Ethernet bas débit (10 Mbit/s), est codé de la manière suivante, pour chaque période T d'horloge de bit :

'0' > $-V$ durant $T/2$ puis $+V$

'1' > $+V$ durant $T/2$ puis $-V$

Sa densité spectrale de puissance vaut : $S_{xx}(f) = C \sin^2(\pi f T/2) \operatorname{sinc}^2(\pi f T/2) = C f^2 \operatorname{sinc}^4(\pi f T/2)$

(C désignant une constante dont la valeur importe peu)

a) représenter très sommairement le graphe de $S_{xx}(f)$ pour $f > 0$

1 pt Cette fonction est nulle en $f=0$ (à cause du sinus ou à cause du facteur multiplicatif f^2 , elle se comporte ensuite comme un sinus cardinal carré (car le $\sin^2$ reste toujours entre 0 et 1), d'où le graphe

b) donner une ou deux propriétés qui vous semblent être intéressantes et qui justifieraient l'emploi de ce code (à savoir : les cartes Ethernet sont toutes munies de transformateur de liaison à la ligne)

2 pts Spectre nul en $f=0$, valeur faible dans les basses fréquences (donc passage correct dans les transformateurs) - Transitions fréquentes, au moins une par période (donc récupération de l'horloge facile à réaliser) – une seule propriété est suffisante

c) donner une ou deux propriétés qui vous semblent être néfastes (à savoir : Ethernet haut débit n'utilise pas ce code)

2 pts Première annulation du spectre en $f=2/T$, bande passante nécessaire élevée (donc pas adapté aux hauts débits à cause de la bande passante trop grande qui serait nécessaire) – Risque de confusion binaire ('0' et '1' sont identiques à un décalage de $T/2$ près, ce qui nécessite un système de lever de doute) – une seule propriété est suffisante

12. Soit à réaliser un codage binaire d'une source alphabétique restreinte définie par ses valeurs de symboles et ses fréquences moyennes d'apparition :

$S = \{A, B, C, D\}$ et $P(S) = \{0.4, 0.3, 0.2, 0.1\}$ respectivement

On précise que les symboles sont émis indépendamment les uns des autres.

Cette information doit emprunter un canal binaire $\{0, 1\}$ de faible capacité (on entend par là que toute réduction de débit est la bienvenue ...)

a) on pense d'abord à un code « F » réalisé comme cela :

A = 00 B = 0 C = 10 D = 11

Qu'est ce que ce code ? Critiquez ce code.

1 pt Ce code est un simple codage binaire naturel de 4 symboles, les valeurs de $P(S)$ ne sont pas prises en compte, le débit n'est naturellement pas optimisé

b) on pense ensuite à un code « G » réalisé comme cela :

A = 0 B = 01 C = 001 D = 011

Qu'est ce que ce code ? Critiquez ce code.

2 pts Ce code est un code à longueur variable, il semble appliquer la règle d'association « plus grande proba = plus petite longueur » et semble satisfaire à l'arborescence que l'on peut établir, ... mais il n'est pas décodable car le code de A étant préfixe de B, C, D et de même B étant préfixe de D, il y a ambiguïté de décodage (exemple : comment différencier 'AB' de 'C' ???)

c) on pense enfin à un code « H » réalisé suivant la méthode de Huffman.

Pourquoi est-ce la bonne solution ?

Réaliser ce codage.

2 pt C'est la bonne solution car les symboles sont émis indépendamment les uns des autres et leurs probabilités sont différentes (donc classables). L'algorithme d'Huffmann (arbre binaire) donne alors le résultat suivant :

A = 0 B = 10 C = 110 D = 111

ou (équivalent)

A = 1 B = 01 C = 001 D = 000

On pourra noter que ce code a même longueur que le code « G », mais « H » est décodable sans ambiguïté.