
TD n° 2 - Bases de la transmission

1 Codage du signal

Transmission du signal : quelques définitions et formules

Signal : onde exprimée par une sinusoïde ;

Moment (T) : temps mis pour générer un signal ;

Fréquence (F) : nombre de signaux émis en une seconde (valeur exprimée en Hz).

1. Bande passante

Bande passante (ou largeur de bande) : bande de fréquences dans laquelle la puissance des signaux est convenablement reçue par le support. Plus la bande passante est élevée meilleure sera la transmission. On exprime cette valeur en décibels (dB).

Bande passante : $N = 10 \log_{10}(\frac{P_S}{P_B})$

N = nombre de décibels

P_S = puissance signal en watt

P_B = puissance bruit en watt

Exemples de niveaux sonores :

- $N > 30$ dB en téléphonie ;
- $N > 70 - 80$ dB en haute fidélité ;
- $N > 47$ dB en radio ;
- $N > 52$ dB en télévision analogique.

2. Transmission en bande de base (numérique)

Débit binaire : $D = \frac{1}{T}$ bits/s

Capacité (ou débit) théorique canal transmission : $D = W \log_2(1 + \frac{P_S}{P_B})$ (formule de Shannon)

W = bande de fréquences

$\frac{P_S}{P_B}$ = rapport puissance/bruit

3. Transmission large bande (analogique)

Rapidité de modulation : $R = \frac{1}{T}$ (nombre de signaux générés par le codeur par seconde, exprimé en bauds)

Débit canal modulé : $D = nR$

n = nombre de bits codés par une modulation

ou

Débit canal modulé : $D = R \log_2(V)$

V = valence : nombre d'états binaires codées par une modulation

Remarque : Nyquist (1928) établit un rapport entre la rapidité maximum et la bande passante W :

$$R_{\max} = 2W$$

Exercice 1.

Transmission de données

- 1 Une voie de transmission véhicule 16 signaux distincts. Quelle est la quantité d'information binaire maximale pouvant être transportée par chaque signal ? Si la rapidité de modulation est $R = 1200$ bauds, quel est le débit binaire de cette ligne ?

Solution : Avec 4 bits on peut former 16 combinaisons différentes auxquelles correspondent les 16 signaux distincts. Donc la quantité d'information binaire transportée par signal est 4 bits.

- 2 L'image TV est transmise sur une voie dont la bande de fréquences est de 4,5 MHz et un rapport signal/bruit de 35 dB. Déterminez la capacité théorique de cette voie.

- 3 Soit une ligne téléphonique dont les fréquences extrêmes de la bande passante sont 300-3400 Hz. La rapidité de modulation est de 1200 bauds et les signaux transmis sont de valence 16. Quel est le débit théorique binaire sur cette ligne ?

Solution : $D = R \log_2(V) = 1200 \log_2(16) = 1200 \times 4 = 4800$ b/s

- 4 On suppose que la ligne téléphonique présente un rapport signal/bruit de 34 dB. Quelle est la capacité théorique de cette ligne ?

Solution : $D = (3400 - 300) \log_2(1 + \frac{P_S}{P_B})$

Calcul de $\frac{P_S}{P_B}$: $34 \text{ dB} = 10 \log_{10}(\frac{P_S}{P_B}) \rightarrow \log_{10}(\frac{P_S}{P_B}) = 3,4 \rightarrow \frac{P_S}{P_B} = 10^{3,4} = 2511$

D'où : $D = (3400 - 300) \log_2(1 + 2511) = 3100 * 11,29 = 35013$ b/s

Exercice 2.

ADSL

- 1 Sur une ligne ADSL la bande de fréquences utilisée est de 1 MHz et la bande passante maximale est d'environ 70 dB. Quel est le débit binaire théorique sur cette ligne ?
- 2 Pour recevoir correctement la télévision par l'ADSL il faut que la bande passante ne soit pas inférieure à 40 dB. Quel est le débit minimum nécessaire pour voir la télévision ?
- 3 Sachant que souvent la bande passante d'un poste éloigné du commutateur est inférieure à 10 dB. Quel est le débit correspondant ?

Exercice 3.

Câble réseau

Vous souhaitez installer un réseau local en utilisant un câblage de type paire torsadé.

Sachant que vos besoins de transmission nécessitent un débit de 1 Gb/s, un vendeur vous propose un câble RJ45 de catégorie 5. Après avoir cherché des informations de votre côté, vous découvrez qu'il existe aussi un câble de catégorie 5e.

En approfondissant vos recherches vous trouvez les informations suivantes :

Catégorie 5 : bande passante $N = 10$ dB, bande de fréquences $W = 100$ MHz ;

Catégorie 5e : bande passante $N = 35$ dB, bande de fréquences $W = 125$ MHz.

- 1 Déterminez les capacités théoriques de transmission de chaque catégorie de câble.

Solution :

— Catégorie 5 (10 dB, 100 Mhz) :

$$\frac{P_S}{P_B} = 10$$

$$D = 100 \text{ Mhz} \log_2(1 + 10) = 100 \text{ Mhz} \times 3,45 = 345 \text{ Mb/s}$$

— Catégorie 5e (35 dB, 125 Mhz) :

$$\frac{P_S}{P_B} = 10^{3,5}$$

$$D = 125 \text{ Mhz} \log_2(1 + 3162) = 125 \text{ Mhz} \times 11,62 = 1452 \text{ Mb/s}$$

2 Le câble proposé par le vendeur est-il adapté à vos besoins ?

Solution : Il est évident que le câble de catégorie 5 n'est pas adapté aux besoins.

De nouveaux types de câbles sont aujourd'hui utilisés ou en cours de normalisation :

Catégorie 7 : bande passante $N = 50$ dB, bande de fréquences $W = 600$ Mhz

Catégorie 7a : bande passante $N = 50$ dB, bande de fréquences $W = 1000$ Mhz

3 Déterminez les capacités théoriques de transmission de chacune des catégories de câble citées.

2 Contrôle des erreurs de transmission

Calcul du CRC

Ce contrôle protège des blocs de données, appelés trames (*frames* en anglais) contre les erreurs de transmission.

À chaque trame est ajouté un bloc de données, appelé *code de Contrôle de Redondance Cyclique* (CRC) dont la valeur dépend des données transmises.

Principe :

- 1 On choisit un polynôme appelé « générateur » (par exemple $X^3 + 1$).
- 2 On ajoute d zéros au message à transmettre, où d est le degré du diviseur. Si par exemple le message initial à transmettre est 1 1 0 1 et que le polynôme générateur est $X^3 + 1$ on considère le message étendu 1 1 0 1 0 0 0, qui correspond au polynôme $X^6 + X^5 + X^3$.
- 3 On effectue la division euclidienne (modulo 2) du message étendu par le polynôme générateur, et on ajoute le reste au message. Dans l'exemple, le reste de la division est X^2 , ce qui correspond au code 1 0 0. Le mot de code transmis est donc 1 1 0 1 1 0 0.

Exercice 4.

Contrôle des erreurs de transmission

1 Quelle est la séquence des coefficients binaires (4 bits) du polynôme $X^3 + 1$?

Solution : $X^3 + 1 = 1001$.

2 Considérez les bits de données 101010. Quel est le mot de code à transmettre, y compris les bits de contrôle en utilisant le polynôme générateur $X^3 + 1$? Montrez le calcul complet.

Solution : CRC = reste de la division de $(X^5 + X^3 + X)X^3$ par $X^3 + 1$. On trouve $X^2 + X + 1$ soit 111. Message transmis : 101010111.

3 Quel est le mot de code pour les bits de données 101101 (toujours avec $X^3 + 1$) ? Montrez le calcul complet.

Solution : CRC = reste de la division de $(X^5 + X^3 + X^2 + 1)X^3$ par $X^3 + 1$. On trouve 0 soit 000. Message transmis : 101101000.

4 Est-ce que le mot de code 110110111 est correct si le polynôme générateur est $X^3 + X^2 + 1$? Montrez le calcul complet.

Solution : Oui, le message est correct car la division du polynôme correspondant au message reçu par le polynôme générateur donne un reste nul.

Exercice 5.

Correction d'erreurs

Pour détecter les erreurs de transmission plusieurs techniques peuvent être utilisées. L'avis V40 du CCITT préconise l'ajout d'un bit supplémentaire (bit de parité), il existe aussi une technique nommée LRC (Contrôle de Redondance Longitudinale) et encore le Contrôle de Redondance Cyclique (CRC).

Vous devez transmettre le message : 10000101001001.

1 Pour chacune des techniques précédentes, donnez le message à transmettre après ajout des bits de contrôle. Pour le CRC on utilisera le code générateur binaire 1001.

Solution :

Ajout d'un bit supplémentaire (bit de parité) à un certain nombre de bits de données appelé mot de code (généralement 7 bits, pour former un octet avec le bit de parité) Par exemple : ajout d'un 1 si le nombre de bits du mot est impair, 0 dans le cas contraire.

Le contrôle de parité croisé (LRC = Contrôle de Redondance Longitudinale) , contrôle l'intégrité des bits de parité d'un bloc de caractères. Limite : Méthode plus efficace que le bit de parité → détection de plusieurs bits erronés. En cas d'erreur il faudra retransmettre tout le bloc.

Le Contrôle de Redondance Cyclique (CRC). Ce contrôle protège des blocs de données, appelés trames (frames en anglais). A chaque trame est ajouté un bloc de données, appelé code de contrôle (parfois CRC par abus de langage ou FCS pour Frame Check Sequence dans le cas d'un code de 32 bits) dont la valeur dépend des données transmises. Le bloc de contrôle d'erreur = Reste (message à transmettre / code binaire connu)

Bit de parité :

1000010 0
1001001 1

LRC :

1000010 0
1001001 1

0001011 1

CRC : Pour calculer le bloc de contrôle d'erreur on va utiliser la forme polynomiale. L'information à transmettre est $X^{13} + X^8 + X^6 + X^3 + 1$. Le code générateur est $X^3 + 1$.

Le bloc est égal au reste de la division de $X^{16} + X^{11} + X^9 + X^6 + X^3$ par $X^3 + 1$, soit $X^2 + X + 1$ ce qui correspond à la suite binaire 111. Le message transmis est donc 10000101001001 111.

2 Combien d'erreurs peut-on détecter avec chaque technique ? Peut-on les corriger ?

Exercice 6.

Cas pratique

Dans cet exercice on considère que l'on va coder des caractères à partir de la table ASCII en annexe, mais chaque caractère ne sera codé que sur 7 bits au lieu de 8.

Par exemple la lettre « A » est codée 41₁₆ dans la table ASCII soit 01000001 en binaire. Pour cet exercice, on ne retiendra pas le bit de poids fort et on codera « A » par 1000001 sur 7 bits.

L'utilisateur **dupont** veut se connecter au serveur de son entreprise à partir de son portable. Après avoir saisi son *login*, il tape son mot de passe qui va être envoyé au serveur pour vérification.

Dans un premier temps il utilise un logiciel de connexion qui transmet son mot de passe en le protégeant contre les erreurs de transmission par la technique de l'ajout d'un bit de parité, configurée comme suit : 7 bits de données suivis d'un bit de parité.

Le message (en hexadécimal) reçu par le serveur est A9 93 A9 9F.

1 À la réception, le serveur répond « Invalid password ». Quelles peuvent être les raisons de ce rejet ? Justifiez votre réponse.

dupont change alors de logiciel de transmission. Le nouveau logiciel code le mot de passe par une technique dite de parité croisée. Cette technique ajoute un bit de parité à chaque caractère et génère tous les 4 caractères, un caractère de contrôle qui permettra de vérifier la parité des bits de même poids des 3 caractères précédents.

Le message (en hexadécimal) reçu par le serveur est A9 AF A9 AF 80.

2 À la réception le serveur répond « Transmission error », quelle en est la raison ? Justifiez votre réponse.

Désespéré, **dupont** utilise un autre logiciel qui code le message à transmettre à partir de la technique du CRC (Code de bloc). Pour cette transmission le CRC est calculé à partir de la suite binaire 11001.

Le message (en hexadécimal) reçu par le serveur est A9 3E A4 FE.

3 À la réception le serveur répond « dupont logged in ». Pourquoi le serveur sait-il qu'il n'y a pas eu d'erreurs de transmission ? Quel est le mot de passe de **dupont** ?

Table ASCII

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|-----|-----|----|---|---|---|---|-----|
| 0 | NUL | DLE | | 0 | @ | P | ` | p |
| 1 | SOH | DC1 | ! | 1 | A | Q | a | q |
| 2 | STX | DC2 | " | 2 | B | R | b | r |
| 3 | ETX | DC3 | # | 3 | C | S | c | s |
| 4 | EOT | DC4 | \$ | 4 | D | T | d | t |
| 5 | ENQ | NAK | % | 5 | E | U | e | u |
| 6 | ACK | SYN | & | 6 | F | V | f | v |
| 7 | BEL | ETB | ' | 7 | G | W | g | w |
| 8 | BS | CAN | (| 8 | H | X | h | x |
| 9 | HT | EM |) | 9 | I | Y | i | y |
| A | LF | SUB | * | : | J | Z | j | z |
| B | VT | ESC | + | ; | K | [| k | { |
| C | FF | FS | , | < | L | \ | l | & |
| D | CR | GS | - | = | M |] | m | } |
| E | SO | RS | . | > | N | ^ | n | ~ |
| F | SI | US | / | ? | O | _ | o | DEL |