Transmission d'un signal numérique

- 1. Introduction
- 2. Transmission en bande de base
  - Densité Spectrale de Puissance
  - Exemple de format
  - Transcodage
  - Embrouillage
  - Régénération
  - Correction par filtre
- 3. Transmission par modulation d'une porteuse

Introduction

- Le signal peut être aussi bien :
  - un signal analogique échantillonné / quantifié / codé
  - des données (caractères, symboles instructions…) représentées par des nombres (ex: table ascii)
- La matérialisation de l'information, ainsi que le mode de transmission sont divisés en deux familles :
  - Transmission en Bande de base
  - Transmission par modulation d'une porteuse

Transmission en Bande de Base

Définition :

– L'information numérique forme une suite dans le temps de symboles notés $\{(\Gamma_i)_n\}$ où $\Gamma_i \in \{\Gamma_1, \Gamma_2, \ldots \Gamma_i, \ldots \Gamma_N\}$

– A chaque symbole est associé un signal physique de duré fixe T

– L'ensemble forme un signal cadencé par une horloge de période T

Ainsi le signal :

$$s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} S_{i(n)}(t - nT)$$

représente la suite des symboles $\{\Gamma_{i(n)}\}$

Transmission en Bande de Base

En bande de base :

La forme générale des signaux élémentaires est :

$s_i(t)=d_i.s(t)$ avec

- d_i valeur associée au symbole Γ_i
- S(t) une forme commune de signal de durée T

Avantages :

-Simple

-Peu coûteux

Inconvénients :

- Nécessite une large bande passante
- Avec en particulier une faible déformation aux bases fréquences

Transmission en Bande de Base

Exemples:

d_i	Γ_i
0	0
1	1

d_i	Γ_i
-1	0
1	1

Densité Spectrale de Puissance

Forme des spectres :

La plupart du temps, la suite de symboles est, en bonne approximation, un **processus aléatoire**.

En effet, si le signal était totalement déterministe, il serait prédictible i.e. de futur connaissable … en particulier par le récepteur (à quoi bon le transmettre?)

=> L'information est liée à un certain degré d'incertitude

La transformée de Fourrier ne peut être calculée qu'une fois le processus réalisé, i.e. une fois que le signal est connu depuis l'instant initial jusqu'à l'instant final

Autrement dit il faudrait réalisé autant de TF que de signal???

=> Traitement statistique nécessaire

Densité Spectrale de Puissance

Description Statistique :

Idée : Signal aléatoire ne signifie pas que rien n'est connu

Il peut être décrit par des grandeurs statistiques.

Ex : un signal contient autant de 1 que de 0

$\Rightarrow$P(0) = 1/2 et P(1) = 1/2

Processus stationnaire (au sens large) :

- Fonction d'auto corrélation $R_{ss}(t_1, t_2) = R_{ss}(\tau)$

- Densité spectrale de puissance :

$$\gamma_{ss}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{ss}(\tau)\exp(-2j\pi f\tau)d\tau$$

Transmission en Bande de Base

Hypothèses :

- **Équiprobabilité** des signaux élémentaires

Note : Faux si l'absence de signal est aussi codé par 0

- **Indépendance** des symboles successifs

Note : Faux s'il y a un transcodage

Rappel :

$$s_{transmis}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} s_{i(n)}(t-nT) = \sum_{n=0}^{\infty} d_{i(n)} s(t-nT)$$

T : période de cadence

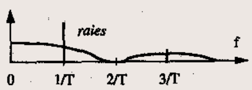
F_C = 1/T : Fréquence de cadence

Transmission en Bande de Base

$$\gamma(f) = \underbrace{\frac{\langle d_i^2\rangle - \langle d_i\rangle^2}{T}}_{} |S(f)|^2 + \underbrace{\frac{\langle d_i\rangle^2}{T^2}\sum_k \left|S\left(\frac{k}{T}\right)\right|^2 \delta(f - \frac{k}{T})}_{}$$

S(f) : TF du signal élémentaire s(t)

Spectre des raies d'écart F_T =1/T (Fréquence de cadence)



Note : si<d_i>=0 => pas de raies

Exemple de format en Bande de Base

Définitions :

Code : permet de transformer une information en suite de symboles.

Ex : suite de bits

Format : forme «physique» des symboles i.e l'expression concrète du signal s(t). Cette forme est choisie selon la qualité du support et rend la transmission plus ou moins efficace

Transcodage : ≠ du codage

A codage et format donnés, le transcodage recode la suite de signaux élémentaires, l'objectif étant d'améliorer la transmission

Exemple de format en Bande de Base

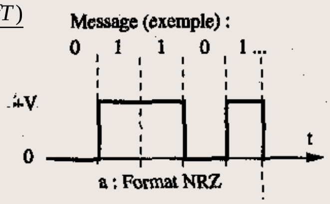
Format NRZ (non retour à zéro) :

Définition : signal constant pendant la durée T (période de la cadence)

$\Rightarrow$ s(t) = rectangle de largeur T d'amplitude

- (+V) pour le symbole 1
- 0 pour le symbole 0

$\Rightarrow \quad S(f)\dfrac{\sin(\pi fT)}{\pi fT}$



Exemple de format en Bande de Base

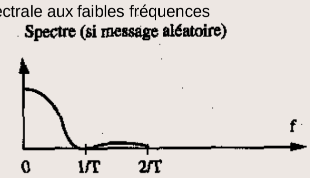
Avantages :

- Très simple

Inconvénients :

- Grande densité spectrale aux faibles fréquences

=> distorsions



- Dans le cas d'une suite de symboles identiques

$\Rightarrow$ Risque de perte de la cadence

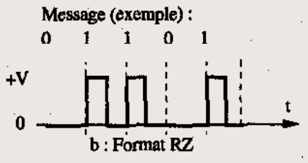
- Pas de raies car $\sin_c(\pi. (k/T).T)$ =0

$\Rightarrow$ Difficile de récupérer l'horloge

Exemple de format en Bande de Base

Format RZ (retour à zéro) :

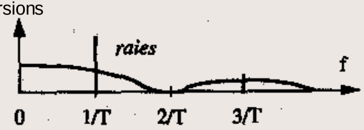
Définition : signal constant pendant une durée T'<T
(T : période de la cadence)
$\Rightarrow$ s(t) = rectangle de largeur T'(souvent T'=T/2)
d0 = 0 et d1 = 1



Exemple de format en Bande de Base

Avantages :
- Assez simple
- Moins de contribution à basses fréquences
- le retour à zéro (symbole 1) => récupération de l'horloge

Inconvénients :
- Encore une densité spectrale aux faibles fréquences
  => distorsions



- Dans le cas d'une suite de symboles 0
  $\Rightarrow$ Risque de perte de la cadence
  $\Rightarrow$ Solution : format polaire RZ = codage à 3 niveaux (+V, 0, -V)

Transcodage

Principe :

Remplacer une suite de symboles par une autre suite (en général plus longue) pour :
- Supprimer les composantes continues (au voisinage de 0 Hz)
- Augmenter le nombre de transition
  => récupération de l'horloge
- « Mesurer » statistiquement (et non corriger) le nombre d'erreurs => évaluation de la qualité de la transmission

Illustration générale :

Soit un mot de n bits. On code ce même mot avec m symboles à q niveau avec $q^m > 2^n$
=> possibilité de supprimer des mots non « performants » pour la transmission de données
=> possibilité de détecter des mots interdits

Transcodage

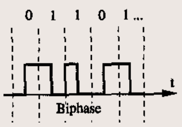
Code à 2 niveaux et rythme doublé :

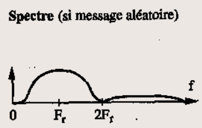
Principe : T est divisé en deux et un état est représenté par une suite de 2 états

Note :
- La formule * n'est plus valable car l'hypothèse d'indépendance des états successifs est fausse
- Largeur de spectre *2 => non adapté aux forts débits

Transcodage

Code biphasé dit de « Manchester » :
0 ->01 (transition montante)
1 -> 10 (transition descendante)





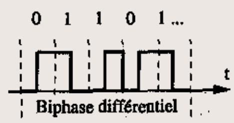
Avantages :
- Spectre s'étend de 0 à $2F_c$ sans composante continue et peu de densité spectrale autour de 0
- Codage très simple
- Horloge facile à récupérer (grâce aux multiples transitions ⇔ présence de raies)
- Séquence interdite 11 et 00

=> Si détectée = **indique une erreur de transmission**

Transcodage

Code biphasé différentiel : (variante)
0 -> 01 (transition montante)
1 -> transition inverse de la précédente (10 ou 01 selon)

Avantages :
- Idem



Spectre (si message aléatoire)

même spectre

Transcodage

Code Mark Inverse (CMI) :

0 -> 10 (transition descendante)

1 -> alternativement 00 et 11

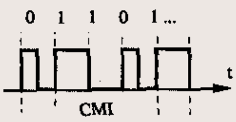
Avantages :

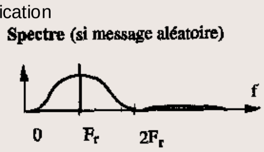
- Idem
- récupération de la phase de l'horloge (et non à la ½ période près)

Inconvénient :

- Plus complexe

Note : utilisé en télécommunication





Transcodage

Code à 2 niveaux et rythme doublé (fin) :

Ce code correspond en fait à un cas particulier d'une forme plus générale nBmB (n=1 et m=2)

Cas plus général :

Pour un transcodage nBmB :

Un bloc de n bits est traduit par un bloc de m bits.

- Largeur de bande *m/n (débits plus élevés)
- 5B6B et 7B8B très efficaces
- plus complexes

Transcodage

Code à 3 niveaux :

Principe : affectation de 3 valeurs (-V) , 0, (+V) selon le transcodage

Avantages :

- Utilisable même si le support ne laisse pas passer les composantes continues
- Possibilité d'apporter une alimentation électrique

Transcodage

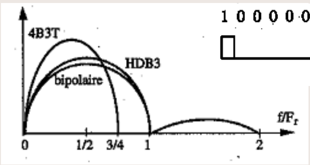
Code bipolaire simple :

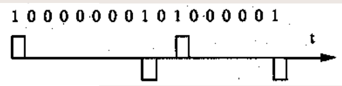
0 -> 0

1 -> alternativement (-V) et +(V)

Avantages :

- Pas de composante continue et de densité spectrale basses fréquences
- Fréquence de coupure F_c et non $2F_C$ (cf. 2 niveaux à rythme doublé…)





Embrouillage

Principe :

Combiner le signal avec un séquence pseudo aléatoire **connue**

Avantages :

- Avoir des transitions même sans signal ou avec une suite importante de zéros

$\Rightarrow$Pas de perte du rythme de l'horloge

- Caractéristique statistique identique quelques soit le contenu du signal

Inconvénients :

- Plus complexes

Régénération

Principe :

En transmission numérique, à chaque coup d'horloge, le signal doit représenter un des symboles du codage

$\Rightarrow$ Tout écart (suffisamment modérée) à la représentation idéale (dû aux bruits, distorsions…) est repérable

$\Rightarrow$ Régénération possible

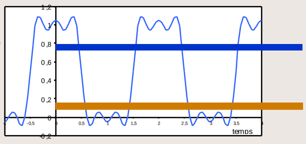
En pratique, la régénération est possible si la probabilité de produire un autre symbole est faible

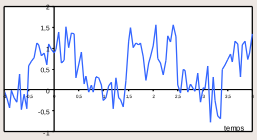
Ex: en binaire :

$P_E = P(S_{envoyé}=1)*P(S_{régénéré}=0 / S_{envoyé}=1)$
$+ P(S_{envoyé}=0)*P(S_{régénéré}=1 / S_{envoyé}=0)$

Régénération

Régénération possible par établissement d'un seuil bas et haut **en amplitude**

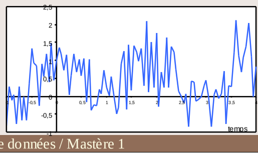




Régénération difficile

-Pb d'amplitude

-Pb de reconnaissance de l'**instant de transition**



Correction par filtre

Idée :

En numérique : déformer un signal ne signifie pas nécessairement perdre de l'information

Objectifs des filtres :

1. Réduire le bruit
2. Limiter les interférences entre symboles
3. Corriger les déformations (linéaire) liées au support

Réduire le bruit

Principe :

Si le bruit est une **source aléatoire**

⇒ Filtre passe bas dans la limite de la largeur en fréquences du signal

Si le bruit est de **fréquence bien déterminée**

=> Coupe Bande adapté

Limiter les interférences entre symboles

Idée :

- Nous savons que en général « Filtrer = élargir »
- Cependant, si l'on applique un filtre qui, par conséquent élargit le signal numérique, mais **annule ce signal** (ou au moins le réduit) à des instants bien choisis, **l'élargissement** non seulement **ne pose problème mais réduit les interférences entre symboles**.
- Les instants cruciaux sont les instants, **multiples de la cadence** de l'horloge, où la décision sur le symbole est effectuée.

… C'est le **critère de Niquist**

Limiter les interférences entre symboles

Application du critère de Niquist dans un cas simple :

Signal = suite d'impulsions idéales

⇒ Un filtre idéal convolurait le signal par une fonction de type : sinc(π.t /T),

Cependant

⇒ Pente du filtre « infiniment » raide

⇒ Ne respecterait pas le principe de causalité!!!

⇒ Impulsions de largeur non nulle

⇒ Signal plus ou moins déformé

Limiter les interférences entre symboles

Application dans un cas réel :

Filtre réaliste =>

- Pente plus douce
- Ajout d'un retard de T
- Réponse impulsionnelle sans contribution pour les temps négatifs

Signal réel =>

- Filtre de forme dépendante du signal (filtre numérique)
- Optimisation : Signaux et filtre adapté pour augmenter le S/B

Déformation (linéaire) liée au support

Principe :

- Compenser les **déformations linéaires** du support.
- Processus nommé **égalisation**
- Ajouter un filtre G_R **causal et adapté**

En pratique :

- G_R est un filtre numérique qui s'adapte aussi à l'évolution du support (F_c : cadence de l'horloge)
- Apport

	Bande passante exigée		Largeur 1er lobe du spectre	Gain
	Théorique	Pratique		
Format NRZ	$0{,}5\ F_r$	$0{,}7\ F_r$	F_r	1,4
Format RZ ½	$0{,}5\ F_r$	$0{,}6\ F_r$	$2\ F_r$	3,4
Code Biphase	F_r	$1{,}4\ F_r$	$2\ F_r$	1,4
Code CMI	F_r	$1{,}4\ F_r$	$2\ F_r$	1,4
Code bipolaire	$0{,}5\ F_r$	$0{,}7\ F_r$	F_r	1,4
Code nBmB	$0{,}5\ m/n\ F_r$	$0{,}7\ m/n\ F_r$	$m/n\ F_r$	1,4