

TD

I. TRANSMISSION DE DONNEES

1. QU'EST-CE QU'UN CANAL DE TRANSMISSION?

1.1 Rappels

Une ligne de transmission est une liaison entre les deux machines. On désigne généralement par le terme émetteur la machine qui envoie les données et par récepteur celle qui les reçoit. Les machines peuvent parfois être chacune à son tour réceptrice ou émettrice (c'est le cas généralement des ordinateurs reliés par réseau).

La ligne de transmission, appelé aussi parfois canal de transmission ou voie de transmission, n'est pas forcément constituée d'un seul support physique de transmission, c'est pourquoi les machines d'extrémités possèdent chacune un équipement relatif au support physique auxquelles elles sont reliées.

1.2 Support de transmission

1.2.1 Citez 3 supports de transmission différents utilisés pour la communication entre machines.

1.2.2 Qu'est-ce qui les différencie ?

2. LARGEUR DE BANDE ET BANDE PASSANTE

3.1. Supports physiques

Les supports physiques de transmissions sont les éléments permettant de faire circuler les informations entre les équipements de transmission.

On classe généralement ces supports en trois catégories, selon le type de grandeur physique qu'ils permettent de faire circuler, donc de leur constitution physique :

- les **supports métalliques** permettent de faire circuler une grandeur électrique sur un câble généralement métallique ;
- les **supports optiques** permettent d'acheminer des informations sous forme lumineuse ;
- les **supports aériens** désignent l'air ou le vide ; ils permettent la circulation d'ondes électromagnétiques ou radioélectriques diverses.

Selon le type de support physique, la grandeur physique a une **vitesse de propagation** plus ou moins rapide (par exemple, le son se propage dans l'air à une vitesse de l'ordre de 300 m/s alors que la lumière a une célérité proche de 300 000 km/s).

3. PERTURBATIONS

3.1 Rappels

La transmission de données sur une ligne ne se fait pas sans pertes. Tout d'abord le temps de transmission n'est pas immédiat, ce qui impose une certaine "synchronisation" des données à la réception. D'autre part des parasites ou des dégradations du signal peuvent apparaître.

Les parasites (souvent appelé bruit) sont l'ensemble des perturbations modifiant localement la forme du signal.

Le ratio signal-bruit représente la quantité de bruit mesurée. Il se calcule en faisant le quotient entre la puissance du signal (S) et la puissance du bruit (N) : S/N . Habituellement le ratio signal-bruit n'est pas donné tel quel, on l'exprime plutôt en décibels (dB) par : $10 \cdot \log_{10}(S/N)$.

3.2 Exercices

3.2.1. A quoi correspondent en grandeur réelle les rapports : 10dB, 3dB, 40dB, 37dB

4. BANDE PASSANTE ET CAPACITE

4.1 Rappel sur le débit maximal d'un canal

Loi de Nyquist :

Un signal passant dans un filtre passe bas de bande passante H peut être reconstruit en faisant exactement $2H$ échantillons/sec. Dans un environnement sans bruit, le débit maximal dépend uniquement de la bande passante du signal.

Un signal binaire s'obtient à l'aide de la formule suivante :

Débit max. = $2 H$ bit/s.

Si un signal a V niveaux discrets (Valence) on obtient :

Débit Max = $2 \cdot H \cdot \log_2 V$ bit/s.

4.2 Rappel sur le débit maximal d'un canal dans un environnement bruité

La bande passante d'une voie de transmission est l'intervalle de fréquence sur lequel le signal ne subit pas un affaiblissement supérieur à une certaine valeur (généralement 3db, car 3décibel correspondent à un affaiblissement du signal de 50%, on a donc). Une ligne de téléphone a par exemple une bande passante comprise entre 300 et 3400 Hertz environ pour un taux d'affaiblissement égal à 3db.

La capacité d'une voie est la quantité d'informations (en bits) pouvant être transmise sur la voie en 1 seconde. D'après la loi de Shannon on peut exprimer la capacité de la manière suivante :

$$C = W \log_2 (1 + S/N)$$

Avec C capacité (en bps), W La largeur de bande (en Hz), et S/N représente le rapport signal sur bruit de la voie.

4.3 Exercices

4.3.1 Pour un signal binaire de 3kHz quel serait le débit maximal sur un canal sans bruit?

- 4.3.2 Les canaux de télévision ont une largeur de 6MHz. Combien de bits par secondes peuvent être envoyés si on utilise des signaux numériques à 4 niveaux ? Supposez que le canal est sans bruit.
- 4.3.3 Si un signal binaire est envoyé sur un canal à 3kHz, dont le ratio signal bruit est de 3 dB, quel peut être le débit maximum de ce canal. ?
- 4.4 On désire transmettre de la vidéo numérique ayant les caractéristiques suivantes : Une matrice de 480x640 pixels, avec un pixel pouvant prendre une valeur parmi 32 intensités différentes. La vitesse requise est de 25 images par seconde.
- Quelle est la vitesse de transmission de l'émetteur en bits par seconde ?
 - Le canal disponible possède une bande passante de 4,5 MHz et un rapport signal bruit de 35dB. Peut-on transférer le signal vidéo sur ce canal ?

5. TRANSMISSION DE DONNEES ANALOGIQUE ET NUMERIQUE

5.1 Rappels

Les **données** sont les entités qui transportent une signification

- ❑ **données analogiques** : valeurs continues sur un intervalle (ex voix et vidéo varient continuellement suivant l'intensité)
- ❑ **données numériques** : valeurs discrètes (ex texte, entiers)

Les **signaux** sont les codages de données électriques ou électromagnétiques

- ❑ **signal analogique** : variation continue d'une onde électromagnétique qui peut être propagée sur un ensemble varié de support (propagation sur un fil ou non).
- ❑ **Signal numérique** : séquence of impulsions voltage pulses transmis sur un support filaire media

	Signal Analogique	Signal Numérique
Donnée Analogique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le signal occupe le même spectre que la donnée numérique 2. Les données sont codées pour occuper une portion de spectre différent 	Les données sont codées avec un codec pour produire un flux de données numériques
Donnée numérique	Les données numériques sont codées avec un modem pour produire un signal analogique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le signal est constitué de 2 niveaux de voltage (valeurs binaires) 2. Les données sont codées pour produire un signal numérique avec les propriétés désirées

5.2 Exercices

- 5.2.1. Pourquoi la transmission numérique est-elle préférée à la transmission analogique?
- 5.2.2. Quelles sont les différences entre un signal analogique et un signal numérique ?

II. CODAGE

Toute fraction intelligible d'un **message** est constituée de **symboles**. Chaque symbole est composé d'une suite de **signes élémentaires**. Un signe élémentaire est caractérisé par sa **durée** et son **niveau**. Un niveau dépend du processus physique de modulation utilisé (amplitude, fréquence, phase, ...). Le nombre de niveaux est appelé **valence**. La **rapidité de modulation** se mesure en **bauds**, c'est l'inverse de la durée moyenne des symboles.

1. DONNEES / SIGNAL / TRANSMISSION

1.1. Rappels

Les **données** sont les entités qui transportent une signification. On distingue deux type de données :

Données analogiques : valeurs continues (ex : voix, vidéo, données collectées par des capteurs) ;

Données numériques : valeurs discrètes (ex : texte, entiers).

Les **signaux** résultent du codage d'un flux de données sous forme d'une onde électrique ou électromagnétique. A nouveau, on fait la distinction entre :

Signal analogique : onde électrique ou électromagnétique variant de façon continue dans le temps ;

Signal numérique : onde électrique « carrée » variant de façon discontinue dans le temps, (sous forme d'une séquence d'impulsions).

La **transmission** est l'opération qui consiste à transporter le signal d'une machine vers une autre, sur un support donné. Celle-ci peut, une fois de plus, être analogique ou numérique :

Transmission analogique : transport d'un signal analogique sur un ensemble varié de supports (ex : supports métalliques, fibres optiques, supports non guidés). La transmission analogique sur de longues distances nécessite des **amplificateurs** ;

Transmission numérique : transport d'un signal numérique (ou analogique, mais codant des données numériques) un support métallique. La transmission numérique ne peut être mise en œuvre que sur de courtes distances et nécessite des **répéteurs**.

1.2. Exercices

1.2.1. Enoncer les raisons qui poussent à utiliser un signal analogique/numérique pour coder des données analogiques/numériques. Traiter les quatre cas.

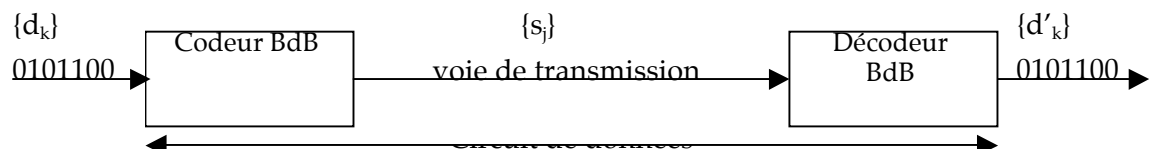
1.2.2. Quels équipements sont nécessaires pour transformer des données analogiques/numériques en un signal analogique/numérique. Traiter les quatre cas.

1.2.3. Quelle différence y a-t-il entre un amplificateur et un répéteur ?

2. CODAGES EN BANDE DE BASE

2.0. Rappels

La transmission en bande de base (BdB) transmet les signaux numériques (suite de bits) sur un support de longueur limitée (longueur maximum 30km).



Les symboles s_j ont tous la même durée Δ égale ou multiple de T (durée d'un signe élémentaire).

a) Quels sont les critères de choix d'un code en bande de base ?

Soit la suite de bits : 1101000011 à coder en bande de base.

b) Représentez les signaux transmis suivant les différents codes en bande de base présentés.

2.1. Code NRZ (Non Return Zero) – Valence 2 (-V, +V)

$d_k = 0$, le signal vaut $-V$

$d_k = 1$, le signal vaut $+V$

2.2. Code Manchester (ou biphasé) – Valence 2 (-V, +V)

$d_k = 0$, le signal est un front montant au milieu de l'intervalle Δ

$d_k = 1$, le signal est un front descendant au milieu de l'intervalle Δ

2.3. Code Manchester différentiel (ou biphasé différentiel) – Valence 2 (-V, +V)

$d_k = d_{k-1}$, le signal est un front montant au milieu de l'intervalle Δ

$d_k \neq d_{k-1}$, le signal est un front descendant au milieu de l'intervalle Δ

Convention : un bit d_0 d'initialisation est nécessaire, on prendra par exemple $d_0 = 1$

2.4. Code de Miller (ou modulation de délai) – Valence 2 (-V, +V)

$d_k = 1$, le signal est un front montant ou descendant au milieu de l'intervalle Δ

$d_k = 0$, si suivi de 1, pas de transition sinon transition à la fin de l'intervalle Δ

Convention : initialisation de la première transition, on commencera par exemple par un front montant

2.5. Code bipolaire simple – Valence 3 (-V, 0, +V)

$d_k = 0$, le signal vaut 0

$d_k = 1$, le signal vaut $\pm V$ alternativement

Convention : initialisation du premier bit 1, on prendra par exemple une amplitude $+V$

2.6. Code bipolaire d'ordre 2 – Valence 3 (-V, 0, +V)

$d_k = 0$, le signal vaut 0

$d_{2k} = 1$, le signal vaut $\pm V$ alternativement (convention : on commencera par $+V$)

$d_{2k+1} = 1$, le signal vaut $\pm V$ alternativement (convention : on commencera par $+V$)

2.7. Code BHDn (Bipolaire à Haute Densité d'ordre n) – Valence 3 (-V, 0, +V)

Un code BHD d'ordre n est une variante de code bipolaire qui évite toute suite de symboles 0 de longueur supérieure à n . Une suite de 0 est remplacée par des séquences de remplissage que le décodeur repère et remplace par la suite de 0 initiale. La signification de la suite de remplissage ne peut être trouvée qu'*a posteriori* de la séquence. Il y a au plus n intervalles de temps sans impulsion.

Conventions de construction de la séquence de remplissage :

– la séquence de remplissage a pour longueur $n+1$, elle est fondée sur le viol d'alternance des $+V$ et $-V$ utilisée pour transmettre les 1 ,

– d'une séquence de remplissage à l'autre, on utilise alternativement des viols positifs et négatifs (pour avoir un signal à valeur moyenne nulle),

– la valeur du $(n+1)^{\text{ème}}$ élément (bit de viol) est soit $+V$, ou $-V$, de telle sorte que la parité du viol actuel soit différente du viol de la séquence de remplissage précédente,

– les n premiers éléments sont à 0. Cependant, si la parité du bit de viol est différente de la parité du 1 précédant la suite de 0, le premier élément est considéré comme « bit de bourrage » et aura la même parité que le bit de viol.

Convention : initialisation de la parité du viol de la première séquence de remplissage, on prendra par exemple une parité positive

a) Donnez le codage BHD1 de la séquence binaire 1101000011.

b) Le code bipolaire haute densité le plus employé est le code BHD3. Donnez le codage BHD3 de la séquence binaire 10000100001100000.

3. DEDIT BINAIRE - RAPIDITE DE MODULATION

3.0. Définitions et formules

Débit binaire D (bits/s) : nombre d'éléments binaires transmis par seconde.

Rapidité de modulation R (bauds) : inverse de l'intervalle significatif Δ . $R = \frac{1}{\Delta} \text{ bauds}$

Formule de Nyquist : borne la rapidité de modulation maximum R_{max} sur un support (modélisé par un filtre passe-bas) de bande passante B .

Si r est le nombre de bits codés par intervalle Δ , alors

Relations déduites : ;

3.1. Débit binaire – Rapidité de modulation

a) Quel est le débit binaire D d'une voie de transmission émettant un signal binaire à chaque signal d'horloge de période T ? Application numérique : $T = 10 \text{ ms}$.

b) Si Δ représente l'intervalle significatif d'un support de transmission, quelle est la rapidité de modulation R disponible sur ce support ? Application numérique : $\Delta = 100 \text{ ms}$.

c) Le signal transmis sur le support précédent a une valence V . Quel est le débit binaire D disponible ? Exprimez cette grandeur en fonction de Δ et de V . Application numérique : $V = 16$, $\Delta = 10 \text{ ms}$.

3.2. Temps de transmission

Combien de temps nécessite la transmission d'une image de dimension 21x30cm par télécopie au travers d'un canal B du RNIS de débit 64kbits/s ? Considérez que le télécopieur a une définition de 300 points/cm en ligne et de 8 lignes/cm et que 4 bits sont nécessaires pour coder chaque point.

4. TYPES DE MODULATION

Soit la séquence génétique GATCTGTAGT à transmettre.

4.1.

Quels est le nombre de symboles ?

4.2.

Dessinez le signal transmis par un modem correspondant à cette séquence ?

a) en modulation quadrivalente d'amplitude

b) en modulation bivalente de fréquence

c) en modulation quadrivalente de phase

d) en modulation quadrivalente de phase et d'amplitude

5. NUMERISATION

5.0. Rappels

Il s'agit d'une technique qui numérise des données analogiques afin de les traiter par des équipements numériques. Echantillonnage, quantification et codage sont les trois étapes de la numérisation.

L'échantillonnage consiste à transformer un signal continu en un signal discret par un prélèvement périodique (période T), à la fréquence d'échantillonnage f_e ($f_e=1/T$), de la valeur du signal analogique. D'après le théorème d'échantillonnage de Shannon, la numérisation d'un signal analogique de fréquence maximum f_{max} est sans perte si

La **quantification** représente un échantillon par une valeur numérique appartenant à une échelle de quantification. L'erreur de quantification est d'autant plus importante que le niveau de quantification est faible et que le pas de quantification est grand. Ce défaut est pallié par l'utilisation de l'échelle logarithmique.

Le **codage** consiste à remplacer la suite des échantillons par une suite binaire.

S'il y a $q=2^n$ niveaux de quantification, un échantillon est codé sur n bits.

Le codage MIC (Modulation par Impulsion et Codage) a 256 (2^8) niveaux de quantification, un échantillon y est codé sur 8 bits.

5.1. Echantillonnage et débit

Soit une ligne téléphonique dont la bande passante est 300-3 400 Hz.

- Quelle est la fréquence d'échantillonnage minimale que l'on doit choisir si l'on veut numériser un signal analogique dont la largeur du spectre est identique à la bande passante du support de transmission ?
- Si l'on arrondit la valeur de la fréquence maximale du signal à échantillonner à 4 000 Hz, que devient la fréquence d'échantillonnage ?
- Quel temps sépare deux échantillons consécutifs du signal ?
- Quel doit être le débit binaire minimal d'une liaison transmettant le signal numérisé d'une voie téléphonique si l'on utilise la modulation MIC (échantillon codé sur 8 bits) et si l'on prend 4 000 Hz comme fréquence maximale du spectre ?

5.2. Quantification et débit

Pour numériser un signal analogique hi-fi, 1 024 niveaux de quantification ont été définis. Si B est la bande passante du support, quel est le débit binaire D nécessaire à la transmission des données du signal numérisé ? Application numérique : $B = 20$ kHz.

III. MULTIPLEXAGE

1. MULTIPLEXAGE FREQUENTIEL ET TEMPOREL

1.0. Rappels

Les techniques de multiplexage permettent de partager le même support physique entre plusieurs utilisateurs. Le **multiplexage fréquentiel** consiste à allouer à chaque utilisateur une partie des fréquences disponibles sous forme de bandes fréquentielles disjointes (BFD). Dans le cas du **multiplexage temporel**, ce sont des intervalles de temps (IT) qui sont alloués à chaque utilisateur. Ces IT de durée variable selon les utilisateurs sont regroupés par trames de durée fixe. Le début de chaque trame est repéré un IT spécifique (IT de verrouillage).

La signalisation d'une voie multiplexée (BFD ou IT) peut être incluse directement dans la voie (**signalisation dans la bande**) ou regroupée avec celle des autres voies dans une voie spécifique (**signalisation hors bande**). Un multiplexeur combinant plusieurs voies à basse vitesse (BV) sur une voie à haute vitesse (HV), son **efficacité** se calcule comme le rapport entre la somme des débits utiles des voies BV et celle de la voie HV.

1.1. Multiplexage fréquentiel

On désire multiplexer en fréquence sept voies BV sur une liaison bidirectionnelle simultanée à 4 800 bit/s. Les sept porteuses des voies BV sont calculées de la façon suivante :

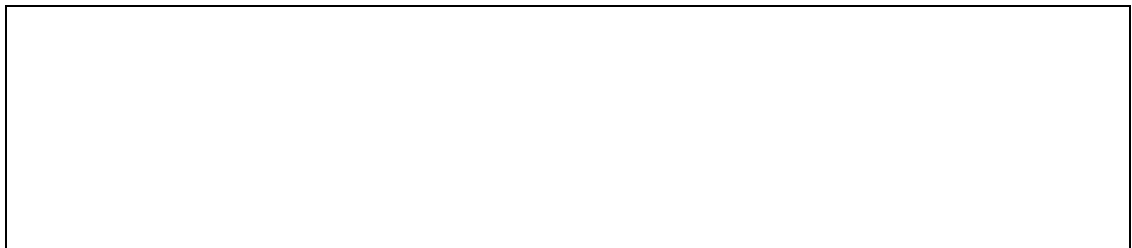
$f_i = 600 + (i-1) 500 \text{ Hz}$ avec $i = 1, \dots, 7$ et la bande passante des BFD est de 120 Hz

Un tel multiplexage est-il possible sur une ligne téléphonique ?

1.3. Multiplexage temporel

1.3.0

Le multiplexage temporel est beaucoup mieux adapté aux signaux numériques. Le partage des ressources se fait dans le temps. La totalité de la capacité du canal composite est allouée à un canal de communication pendant une tranche de temps fixe à intervalles réguliers. Le multiplexeur manipule des *intervalles de temps* (IT) ou *slot-time* contenant des prélèvements d'unités de données de chaque canal. Ces IT sont regroupés en une suite bornée nommée *trame multiplexée* ou *multiplex*. Cette structure de trame est répétée avec une certaine fréquence. Un IT est réservé à chaque canal de communication qui a la même position à l'intérieur de 2 multiplex quelconques.

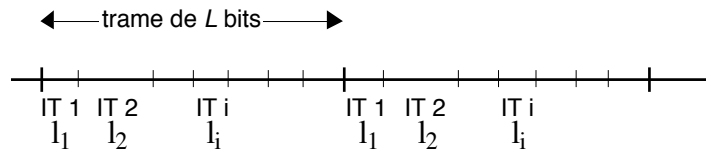


Le premier IT de chaque trame n'est affecté à aucun canal : il transmet une combinaison particulière appelée *verrouillage de trame*, qui sert à reconnaître le début d'une trame et à maintenir la synchronisation entre les deux multiplexeurs.

Multiplexage par caractères / multiplexage par bits

On considère un train numérique permanent de débit D bit/s. On découpe le train en trames de L bits :

Chaque trame est ensuite découpée en intervalles de temps IT :



Dans un **multiplexage par caractères**, chaque IT i a une longueur de l_i bits. Les IT peuvent avoir des longueurs différentes, mais les IT ayant la même position (i) à l'intérieur de deux trames quelconques ont la même longueur : $L = \sum_i l_i$.

Le **rythme** (ou **cadence**) de répétition (ou d'occurrence) des trames est : $R = \frac{D}{L}$ trame/s.

La succession des IT de numéro i des différentes trames constitue un circuit de données appelé canal N° i . Le débit binaire du canal i sur la voie HV est : $d_i = \frac{l_i}{L} D$ bit/s.

Le principe du **multiplexage par bits** est similaire excepté que la longueur de chaque IT est de 1 bit.

Voies BV asynchrones / synchrones

Lorsque les voies BV sont **asynchrones**, la transmission sur la voie BV n'est pas synchronisée : les horloges de l'émetteur et du récepteur (le multiplexeur) sont indépendantes. L'unité de données sur une voie BV asynchrone est le **caractère**. La délimitation des caractères sur la voie BV doit donc être assurée par des bits supplémentaires : chaque caractère commence par un bit de **Start** et se termine par un (ou plusieurs) bit(s) de **Stop**. Sur la voie HV, seule l'information utile (sans les bits Start et Stop) est transmise.

Lorsque les voies BV sont **synchrones**, la transmission sur la voie BV est synchronisée entre l'émetteur de la voie et le récepteur (le multiplexeur) à l'aide d'une **horloge commune** (obtenue par la transmission d'un signal de temps sur la ligne). Cette synchronisation permet de ne transmettre sur une voie BV que l'information utile, sans bit supplémentaire.

1.3.0.1. L'efficacité e d'un multiplexeur est donnée par :

$$e = \frac{\sum_i C_i N_i}{D}$$

où

- C_i est la rapidité de transfert en car/s de la voie BV i (*Basse Vitesse i*) ;
- N_i est le nombre de bits utiles par caractère (sans Start ni Stop) ;
- D est le débit en bit/s de la voie HV (*Haute Vitesse*).

Donner une interprétation de la formule.

1.3.1.

On désire multiplexer par caractère trois voies BV de débit 250 bits/s sur une voie HV normalisée (multiples de 1200 bps). Quel est le choix d'affectation des IT, la taille d'une trame, le débit de la voie HV et l'efficacité du multiplexage ?

- a) quand les voies BV sont synchrones et la signalisation hors bande.
- b) quand les voies BV sont synchrones et la signalisation dans la bande.
- c) quand les voies BV sont asynchrones et la signalisation hors bande.

1.3.2.

On désire multiplexer par caractère une voie BV synchrone de débit 300 bits/s et deux voies synchrones BV de débit 250 bits/s sur une voie HV normalisée. Quel est le choix d'affectation des IT, la taille d'une trame, le débit de la voie HV et l'efficacité du multiplexage quand la signalisation est hors de la bande?

2. MULTIPLEXAGE DANS LES ARTERES DE COMMUTATION

2.0 Rappels

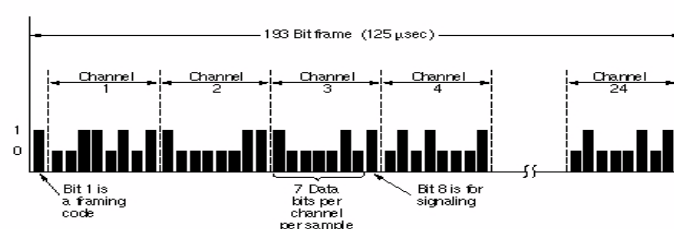
Le coût d'installation et de maintenance est le même pour des artères (large bande passante) que pour des liens de faible bande passante entre deux éléments de commutation. Le Multiplexage va permettre d'obtenir plusieurs conversations sur un même lien physique. Le multiplexage fréquentiel (FDM) peut être utilisé sur des fils ou des liens micro ondes (transmissions analogues) tandis que le multiplexage temporel (TDM), utilisé pour les transmissions numériques, devient de plus en plus populaire.

Problème de TDM: Il ne peut traiter que des données numériques. La conversion d'un signal analogue en numérique se fait dans les commutateurs locaux et requiert des codecs (codeur/décodeurs). Il existe différentes techniques: Pulse Code Modulation, Differential Pulse Code Modulation, Delta Modulation...

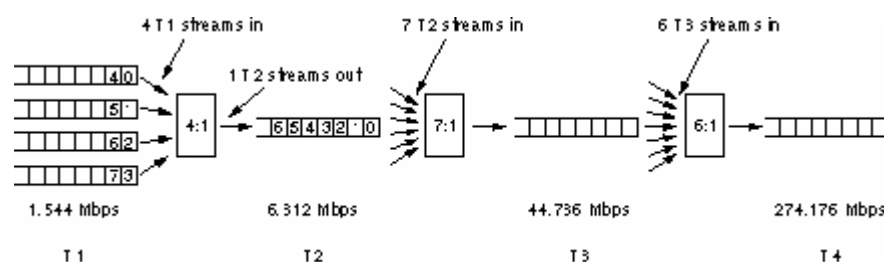
La Modulation par Impulsion et **Codage: MIC** (PCM) permet d'obtenir 8000 échantillons/sec. (i.e. 125 μ s/échantillon). Originellement il fût impossible d'obtenir une norme internationale, aussi plusieurs standards existent :

Canaux T1 (Amérique du nord, Japon) : 24 canaux vocaux multiplexés. Chacun insert 8 bits dans le flux à tour de rôle 1.54 Mbps

Canaux E1(Europe) : 2.048Mbps 32 8bits échantillons



Les trames MIC sont utilisées dans les artères principales, mais les utilisateurs n'en voient pas directement le bénéfice. TDM permet de multiplexer des canaux T1

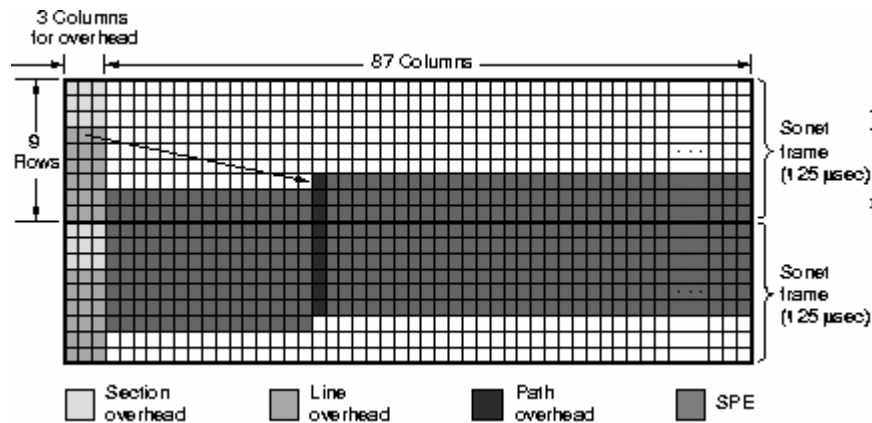


SONET/SDH

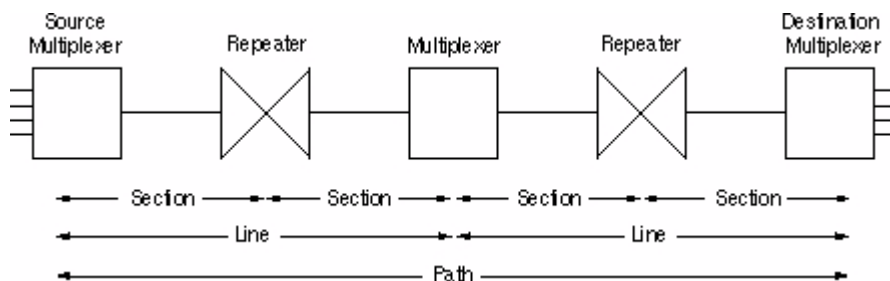
Après 1984, un besoin de normalisation pour les canaux longue distance, deux normes équivalentes sont développées : SONET (Synchronous Optical NETwork) et SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

La majorité du trafic sur les artères utilisent SONET ou SDH. Il s'agit d'un système synchrone et à multiplexage temporel. Une trame **SONET de base** de 810 octets est émise toutes les 125µs. Une trame est composée de 9 lignes et 90 colonnes. Une partie est réservée pour les informations de contrôle, l'autre pour les données. Une trame se compose de 87 colonnes pour les données utilisateurs. Les données utilisateurs peuvent être mises sur plusieurs trames et ne commencent pas forcément au début de la trame (plus flexible).

50.112 Mbps de données utilisateurs



L'entête de contrôle est divisé en différentes zones. L'entête des sections sert à être lu entre chaque élément du réseau (répéteurs, multiplexeur). L'entête de la ligne est regardé entre chaque multiplexeur. L'entête du chemin entre un multiplexeur source et le multiplexeur de destination.



Le canal Sonet de base est appelé **signal de Transport Synchrone 1 STS-1**. Toutes les artères sont des multiples de STS-1.

Multiplexage de flux de données, fait octet par octet.

Débit total pour STS-3: 155.52 Mbps. Le canal optique correspondant est appelé **OC-3**. S'il y a trois flux venant de la même source il est appelé **OC-3c** le débit utilisateur devient supérieur au débit utile OC-3 car l'entête du chemin n'est pas répété pour chaque source. (débit utilisateur = 149.76Mbps vs 148.61 Mbps).

2.1 Questions :

- 2.1.1. Quel est le pourcentage du débit nominal d'un canal T1 du système Bell qui soit utilisable pour les données utilisateur ? pour la signalisation ?
- 2.1.2. On considère un multiplexeur téléphonique MIC à 30 voies: trame E1 comporte 32 canaux numérotés de 0 à 31 et de 8 bits chacun, canal 0 et canal 16 servent à la signalisation

- a- Quel type de multiplexage est employé ?
- b- Quelle est la structure de la trame E1 ?
- c- Quelle est la fréquence d'échantillonnage minimale d'une trame E1 ?
- d- Quelle doit être alors la durée de transmission d'une trame ?
- e- Quel est le débit d'une trame MIC ?
- f- Quelle est la durée pour transmettre un canal ?
- g- Quelle est la longueur d'une trame ?
- h- Quel est l'efficacité du multiplexage ?

2.1.3. Le débit utilisateur pour un trame OC-3 est de 148,608Mbps. Comment obtient-on ce débit à partir des paramètres de la trame SONET?

Quelle est la bande passante utilisateur disponible pour :

une connexion OC-12 ?

une connexion OC-12 c

IV. PROTECTION CONTRE LES ERREURS

1. VERIFICATION PAR DIVISION POLYNOMIALE : CODE CYCLIQUE

1.1 Rappels

La détection des erreurs par vérification de la parité verticale et longitudinale se fait par :

VRC : (Vertical Redundancy Check) : A chaque caractère, on ajoute un bit appelé bit de redondance verticale ou bit de parité.

LRC : (Longitudinal Redundancy Check) : A chaque bloc de caractère, on ajoute un champ de contrôle supplémentaire composé de la façon suivante :

On ajoute à chaque colonne, un bit de parité calculé comme VRC. On effectue cette opération même sur le rang de bit de parité.

Le codage est le calcul du mot de code.

On multiplie $M(x)$ par x^m où $M(x)$ est le polynôme associé à la suite binaire à transmettre et m est le degré maximum du polynôme générateur $g(x)$.

On calcule $R(x)$ qui le reste de la division de polynôme $M(x).x^m$ par $g(x)$. On calcule le mot de code $M(x).x^m + R(x)$ et on le transmet

Le décodage est la vérification du mot de code reçu.

On constitue $M'(x)$ où $M'(x)$ est le polynôme associé à la suite binaire reçue.

On calcule $S(x)$ qui le reste de la division de polynôme $M'(x)$ par $g(x)$.

Si $S(x) = 0$, pas d'erreurs, la suite binaire reçue est un mot de code, on récupère l'information utile

Si $S(x) \neq 0$, il y a une erreur et on demande la retransmission du message

1.2. Calcul du LRC et VRC

Dans l'alphabet CCITT n°5, le mot OSI, se code par les trois caractères de 7 bits

Suivants : O=1001111, S=1010011, I=1000011

1.2.1 Donner le mot de code sur 8 bits associé à chaque caractère VRC puis le LRC correspondant en utilisant une parité paire.

1.2.2 Même question en utilisant une parité impaire. Que constatez-vous ?

1.3 Calcul du LRC par division polynomiale

En gardant les mêmes caractères que dans l'exercice 1.2, calculer le LRC du mot OSI par division polynomiale utilisant le polynôme générateur $G(x) = X^8 + 1$ et en supposant que le huitième bit est le bit de parité paire.

1.4 Calcul du LRC par division polynomiale

On désire transmettre les chiffres hexadécimaux A9C5, le premier chiffre transmis étant le chiffre A. La protection contre les erreurs se fait par LRC.

1.4.1 Donner la forme polynomiale du message émis.

1.4.2 Donner la suite binaire complète transmise au récepteur (mot de code émis).

1.4.3 En supposant que par suite d'une erreur de transmission, le 19ième bit de la suite trouvée dans la première question est modifié, calculer la valeur du reste trouvé par le récepteur.

1.5 Calcul du CRC par division polynomiale

On désire transmettre les quatre chiffres hexadécimaux 6B96. Le mécanisme de détection des erreurs utilise un CRC sur 16 bits dont le polynôme générateur est le polynôme normalisé par l'avis V41. Le premier bit émis est le bit de gauche.

1.5.1 Calculer le mot de code transmis

1.5.2 Par suite d'une erreur de transmission, le récepteur inverse le 14ème bit. Effectuer la division polynomiale faite par le récepteur.

2. VERIFICATION EN UTILISANT UNE MATRICE GENERATRICE : CODE LINEAIRE

2.1 Rappels

Un code cyclique (n,k) est un code linéaire tel que toute permutation cyclique d'un mot de code est encore un mot de code.

Polynôme générateur : Tout mot de code cyclique (n,k) est un multiple du polynôme $g(x)$ de degré $(n-k)$ associé à la dernière ligne de la matrice génératrice G

Mot de code : Le calcul du mot de code se fait par :

$$U = i * G = i [I_k, P]$$

Où : i est l'ensemble des bits de l'information utile à transmettre, G la matrice génératrice, I_k est la matrice d'identité de taille k ,

C est un mot de code si et seulement si son syndrome est nul.

$$\text{Syndrome : } S = C * H \quad (H = [P, I_{n-k}])$$

2.2 Application 1

Soit un code cyclique (6,3) défini par la matrice génératrice suivante :

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

2.2.1 Quel est le polynôme générateur $g(x)$ de ce code ?

2.2.2 Montrer que chaque ligne de G peut s'écrire sous la forme d'un produit de polynômes $p(x)g(x)$?

On veut envoyer la séquence 110 sur la ligne de transmission.

2.2.3 Quelle est la suite binaire que doit restituer le codeur ?

2.2.4 Calculer le syndrome du vecteur $v = 10\ 00\ 11$?

2.2.5 Ce vecteur représente-t-il un mot de code ?