

Couche Liaison :  
Sous-Couche MAC

# Sous-couche MAC

Medium Access Control ou Techniques d'accès aux supports

- Adapté aux LAN ET MAN (diffusion multipoint, tandis que les WAN sont des liaisons point à point
  - ➔ Diamètre de la surface n'excède pas quelques kilomètres
  - ➔ Débit binaire nominal  $>$  que quelques Mb/s

**Contexte** : un canal de communication partagé par plusieurs utilisateurs

**Principe** : attribuer l'accès au canal aux différents utilisateurs potentiels en évitant des éventuelles collisions

- Définition :
  - ➔ Canal unique
  - ➔ Possibilité de collisions
  - ➔ Détection de porteuse
  - ➔ Pas d'écoute préalable

# *Méthodes d'accès au support*

## *Les méthodes statiques*

- La méthode AMRF (Accès Multiple à Répartition de Fréquence) :  
consiste à découper la bande passante du support en sous-bandes et à attribuer chacune d'elles à un seul utilisateur du réseau
- La méthode AMRT (Accès Multiple à Répartition dans le Temps) :  
consiste à affecter successivement et nominalement aux différentes stations du réseau un slot-time. A tour de rôle, chaque station dispose alors de l'intégralité de la bande passante du support.

## *Les méthodes dynamiques*

- Méthode probabiliste
  - La méthode ALOHA
  - La méthode Slotted ALOHA
  - La méthode CSMA et ses variantes
  - La méthode CSMA/CD
- Méthode déterministe : Token Passing

# Méthodes Statiques

# Mode de transmission

- La transmission de bits peut se faire en mode asynchrone ou synchrone
  - ➔ Mode asynchrone : indique qu'il n'y a pas de relations pré-établies entre l'émetteur et le récepteur. Chaque caractère est précédé de bits START et terminé par des bits STOP. Le début de la transmission peut avoir lieu à n'importe quel instant.
  - ➔ Mode synchrone : l'émetteur et le récepteur se mettent d'accord sur un intervalle de temps constant qui se répète sans arrêt dans le temps. Il y a synchronisation du signal émis avec celui sur une horloge.

# Multiplexage

- Partage d'un même support physique de transmission entre plusieurs usagers :
  - ➔ Optimisation de la bande passante
  - ➔ Plusieurs communications sur le même support

## *Fonctionnalités*

- ➔ Machine statique (câblée)
- ➔ Prise en compte du niveau physique
- ➔ Transparent au protocole de communication
- ➔ Faible coût
- ➔ Division statique du support commun (HV)

# Multiplexage : Caractéristiques

- Mélange des voies
  - ➔ Différents codes
  - ➔ Différentes vitesses
  - ➔ Différents modes de transmission (synchrone/asynchrone)
- Signalisation

- ➔ Hors bande : canal sémaphore
- ➔ Dans la bande : à la place des données

- Rapidité de transfert  $C$  de la voie HV :  $C \leq \sum_{i=1}^n C_i$

où  $C_i$  : débit de la voie  $BV_i$  en car/s,  $N$ : nombre de voies  $BV$

- Efficacité : 
$$e = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i l_i)}{D}$$

où  $l_i$  : nombre de bits utiles contenu dans un caractère,  $D$  : débit binaire de la voie HV en bit/s

# Méthodes de multiplexage

- Multiplexage en fréquence (Accès Multiple à Répartition de fréquence) :
  - ➔ Partage de la bande de fréquences disponibles en canaux (sous-bandes affectés à chaque utilisateur)
- Multiplexage temporel (Accès Multiple à Répartition dans le Temps) :
  - ➔ Allocation de la totalité du débit disponible à chaque utilisateur à tour de rôle



# Multiplexage en fréquence

## En émission

- Diviser la bande en sous-bandes de fréquences
- Chaque sous-bande de fréquence est d'une largeur donnée et centrée autour d'une fréquence porteuse différente
- Une sous-bande est appelée canal de données
- Les sous-bandes sont isolées les unes des autres par des bandes de garde
- Le signal d'entrée de chaque  $BV_i$  est modulé autour de la fréquence porteuse de son canal :

$$d_i(t) = \begin{cases} 0 \rightarrow \sin(2\pi(f_i + \Delta f)t) \\ 1 \rightarrow \sin(2\pi(f_i - \Delta f)t) \end{cases}$$

- Après multiplexage fréquentiel, le signal composite obtenue est analogique

# Multiplexage en fréquence

## En réception

- Dispose de batterie de filtres passe-bande qui séparent les voies
- Dispose de discriminateurs qui restituent les signaux  $d_i(t)$

## *Caractéristiques*

- Réalisation complexe
- Efficacité faible (0.2 à 0.3)
- Transfert de voies complexe
- Transmission signalisation coûteuse

# Multiplexage en fréquence

- Exemples : Normes CCITT : BV 50 bauds

$$f_i = 420 + (i - 1) 120 \text{ Hz}$$

$$\Delta f = 30 \text{ Hz}$$

$$i = 24 \text{ voies}$$

- *BV 100 bauds*

$$f_i = 480 + (i - 1) 240 \text{ Hz}$$

$$\Delta f = 60 \text{ Hz}$$

$$i = 12 \text{ voies}$$

# Multiplexage temporel

## *Principe*

- Diviser le temps en périodes appelées **frames**
- Chaque trame est divisée en intervalles de temps appelés **IT** :
  - ➔ Soit un caractère : multiplexage orienté caractère (voies asynchrones)
  - ➔ Soit un bit : multiplexage orienté bit (voies synchrones)

## *Fonctionnement du multiplexeur*

- ➔ Mémorisation des données de chaque  $BV_i$  dans un buffer
- ➔ Un buffer contient exactement un IT
- ➔ Les buffers sont ensuite examinés séquentiellement pour constituer la **trame multiplexée**

# Multiplexage temporel caractère

## *Principe*

- Découpage du train binaire HV en trames
- Chaque trame est découpée en IT fixe
- Émission permanente de trame
- Bien adapté à des BV asynchrones
- Non transparent aux codes et aux vitesses

# Multiplexage temporel caractère

## *Principe*

Débit liaison HV =  $D$  bit/S

Longueur trame =  $L$  bits

Longueur IT =  $\lambda_i$  bits

$$L = \sum \lambda_i \text{ bits}$$

## *Fréquence des trames*

$$F(\text{trame}) = D/L$$

## *Fréquence IT*

$$F(\text{IT}) = L/D$$

## *Débit des sous-canaux $i$*

les IT de même numéro constituent un circuit de données appelé canal  $i$ ,  $d_i = (\lambda_i D / L) \text{ bits/s}$

# Multiplexage temporel caractère

Multiplexage temporel caractère exploité en mode asynchrone

- On désire transmettre des mots  $l_i$  bits avec une capacité  $C_i$  car/s

## Principe

- ➔ supprimer les bits START et STOP des caractères des voies  $Bv_i$
- ➔  $\lambda_i \geq l_i$  et  $D/L \geq C_i$
- ➔ Stockage en attente  $IT_i$
- ➔ À la réception, on régénère les bits START et STOP

# Signalisation

La signalisation permet :

- Dialogue entre multiplexeurs
- Dialogue entre équipements connectés aux extrémités
- Transmission d'informations de service de la voie HV

Deux types de signalisation

➤ Signalisation dans la bande

Dans chaque IT, on utilise un bit supplémentaire indiquant le type de IT, donnée ou signalisation

$$\lambda_i = l_i + 1$$

➤ Signalisation hors bande : canal sémaphore

On utilise un IT supplémentaire



# Multiplexage temporel caractère

## *Verrouillage de trame*

Premier IT de chaque trame contient une combinaison binaire particulière

- Reconnaître le début de trame
- Prise de synchronisation entre les deux multiplexeurs
- Signal d'alarme

# Multiplexage temporel caractère

## ➤ Exemple

➔  $D = 4800$  bits/s

➔ Lignes BV, toutes identiques

➔ Caractéristiques BV :

$$1 \text{ car} = l_i = 8 \text{ bits et } C_i = 10 \text{ car/s}$$

➔ Taille d'une IT :  $\lambda i = l_i + 1 = 9$  bits

➔ Taille d'une trame :  $D/L \geq C_i = 10$

$$\rightarrow L \leq 480 = 53,33 * 9 \rightarrow L = 50 * 9 = 450$$

➔ Nombre d'IT = 50

➔ Nombre de canaux  $50 - 1 = 49$  (verrouillage)

➔ Efficacité :  $e = (49 * 10 * 8) / 4800 = 0.81$

# Multiplexage temporel par bit

## *Principe*

- longueur L en fonction du débit des voies BV
- Taille IT = 1 bit
- 1er IT = synchronisation de la trame
- Plusieurs IT peuvent être affectés au même canal
- Dès qu'un bit est reçu d'une voie BV, il est stocké puis est émis dans le premier IT correspondant au canal

## *Verrouillage de la trame*

- 1er IT
- séquence de bits connue des 2 extrémités
- émise sur plusieurs trames de longueur L
- si récepteur détecte une erreur dans la séquence :
  - ➔ Envoie alarme
  - ➔ Arrête transmission

# Multiplexage temporel par bit

## *Signalisation*

- Signalisation BV codée sur plusieurs bits
- Canal spécifique à la signalisation
- Train de signalisation permanent
- Transmis dans l'ordre croissant des BV

## *Exemple*

$D = 9600 \text{ bits/s}$

Trame de longueur  $L = 16 \text{ bits}$

Définition des canaux

Bit 0 = canal 0 (verrouillage de trame)

Bit 1 à 14 = canaux 1 à 14 (voies BV)

Bit 15 = canal 15 (signalisation)

# Les méthodes Dynamiques

# L'ancêtre ALOHA

Mise en oeuvre pour un réseau radio de diffusion de paquets reliant les îles d'Hawaï

## *Principe*

- Attendre un acquittement au maximum pendant une durée égale à 2 fois le temps de propagation
- la paquet subit une erreur ou une collision : retransmission
- Au bout de n retransmissions successives du même paquet, la station émetteur abandonne

## *Inconvénients*

- Plus il y a de transmissions (plus la charge augmente), plus il y a de collisions
- Taux d'utilisation du canal : 18 %

# L'ancêtre ALOHA

## *Emission*

- Accès au support pour émettre une trame
- Attendre un acquittement au maximum pendant une durée égale à deux fois le temps de propagation (slot)
- Si une réception d'acquittement est faite alors transmission OK
- Sinon ré-émission de la trame selon un algorithme de reprise

## *Réception*

- Vérifier la trame reçue
- Si vérification est positive alors émission d'un acquittement
- Sinon rien (soit une collision s'est produite ou erreur de transmission)

# Aloha en tranches ou Slotted Aloha

## *Principe :*

- le temps est discrétisé : découpé en tranches de temps appelé slot
  - ➔ Les stations sont synchronisées
  - ➔ Une station transmet un paquet au début d'un slot
- Amélioration par rapport à ALOHA simple
- Inconvénients
  - ➔ Taux d'utilisation du canal : 36%
  - ➔ Il y a une très mauvaise utilisation du canal

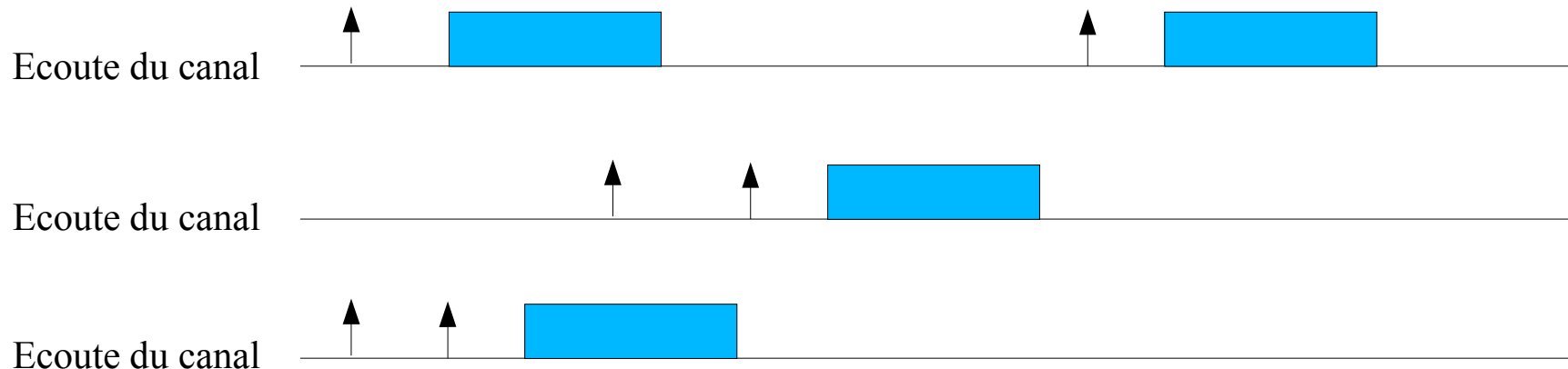


# Les techniques Carrier Sense Multiple Access

## *Principe*

- Cette technique consiste à écouter le canal avant d'entreprendre un
- émission. Si le communicateur détecte un signal sur le canal, il diffère son émission à un moment ultérieur

***Problème*** : il peut toujours y avoir des collisions en cours d'émission



# Les variantes de CSMA

- Selon le type de décision prise lorsque le canal est détecté occupé :
  - ➔ **CSMA non-persistent** : lorsque la station détecte un signal, elle attend un délai aléatoire avant de ré-itérer la procédure (écoute de la porteuse, ...)
  - ➔ **CSMA persistant** (variante retenue) : la station "persiste à écouter le canal jusqu'à ce que celui-ci devienne libre puis émet
  - ➔ **CSMA p-persistent** : lorsque le canal devient libre, la station émet avec une probabilité  $p$ , et diffère son émission avec une probabilité  $(1 - p)$  ; ceci permet de diminuer la probabilité de collision par rapport au CSMA persistant

# CSMA/Collision Detection

## *Principe*

- A l'écoute préalable du signal, s'ajoute l'écoute pendant la transmission et en cas de collision, la ré-émission au bout d'un temps aléatoire
- Utilisé pour Ethernet, normalisée par l'ISO sous l'appellation 8802.3

## *Algorithme*

- ➔ les stations écoutent le canal
- ➔ Si le canal est libre, elles commencent à émettre
- ➔ Quand une collision est détectée :
  - ✓ La station envoie des signaux spéciaux appelés bits de bourrage (jam 32 bits) afin que toutes les stations soient prévenues de la collision
  - ✓ Elle attend un temps aléatoire après la collision et par la suite essaye de retransmettre le paquet

## *Avantages*

- ➔ Gain d'efficacité
- ➔ Détection précoce des collisions
- ➔ Reprise après collision visant à diminuer la probabilité d'une nouvelle collision

# CSMA/Collision Detection

- Algorithme de backoff
  - ➔ Détermine l'instant de retransmission d'une trame qui a subi une collision
  - ➔ Détermine une durée aléatoire avant retransmission
  - ➔ Tirage d'une variable aléatoire entière  $M$  :  $M < 2^k$  où  $k = \min(n, 10)$ ,  $n$  est le nombre total de collisions subies par la trame
  - ➔ Délai d'attente, avant de tenter une nouvelle retransmission, est égale à  $M$  fois la fenêtre de collision; si  $n = 16$ , il y a abandon de la transmission

*La technique CSMA/CD ne permet pas de garantir un délai maximum d'attente avant transmission*

*Ce n'est pas un protocole déterministe*

# Algorithme de backoff

```
Void Reprise_apres_collision (int cpt_tent, int *maxbackoff)
{
    // cpt_tent : compteur de tentatives de transmission
    // maxbackoff : borne supérieure de l'intervalle de tirage

    slot-time := 51; //micro-seconds
    backoff_limit := 10;
    int delay; // nombre de slots à attendre avant de
                retransmettre
    if (cpt_tent == 1) maxbackoff := 2;
    else
        if (cpt_tent <= backoff_limit)
            maxbackoff := maxbackoff * 2;
        else maxbackoff := 210;
    delay := int (random *maxbackoff);
    wait(delay*slot_time);
}
```

# Token passing

- Méthode déterministe : pour ces méthodes, de manière générale, une station désire transmettre une trame doit posséder le droit de l'effectuer. Celui-ci est affecté à la station de différentes manières
  - ➔ Une station peut prendre en charge l'attribution du droit aux stations (principe du polling)
  - ➔ Une trame spéciale, appelée jeton, symbolise le droit d'accès au support. Une station détenant cette trame peut ainsi émettre



