

Systèmes et Réseaux (ASR 2) - Notes de cours

Cours 11

Anne Benoit

April 22, 2015

PARTIE 1: Systèmes

PARTIE 2: Réseaux

1 Architecture des réseaux de communication

1.1 Modèle en couches d'Internet

1.2 Techniques de base: commutation de circuits vs communication par paquets

Délais liés aux files d'attente. Le routeur R_i doit en fait attendre un délai Q_i avant de pouvoir transmettre le paquet. La latence réelle est $\sum_{i=1}^n (L_i/c + M/R_i + Q_i)$.

On note a : taux d'arrivée (paquets/sec), M : taille des paquets (bits), R : taux de transfert (b/s).

Si $aM/R > 1$, la file d'attente croît vers l'infini. Courbe du temps d'attente moyen: 0 quand aM/R vaut 0, et croissance exponentiel en s'approchant de 1.

Capacité limitée de la file d'attente \rightarrow pertes. S'il y a n paquets dans la file, l'attente est $(n-1)M/R$.

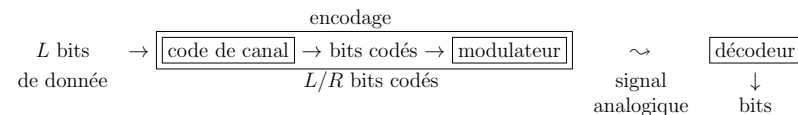
Bilan: circuits vs paquets

Réseau \rightarrow comm. circuits \rightarrow FDM
 \rightarrow TDM
 \rightarrow comm. paquets \rightarrow circuit virtuel
 \rightarrow datagramme

Circuit virtuel: l'état est maintenu dans les routeurs
 (lien1, circuit C1 \Rightarrow lien 2, circuit C2).

Datagramme: adresse sur l'enveloppe. Avec ou sans connexion.

1.3 La couche 1-physique



Débit binaire (bit rate). C'est le nombre de bits transmis par unité de temps (en bit/sec), on le note b . Loi de Shannon-Hartley:

$$b = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right),$$

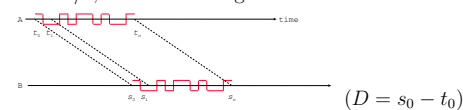
où B est la bande passante (en Hz), et S/N le ratio signal-bruit en dB .

Exemples de débits binaires: modem: 2.4 kb/s à 56 kb/s; ADSL 124 kb/s à 10 Mb/s; Ethernet 10 Mb/s, 100Mb/s, 1Gb/s.

Question: Combien de temps faut-il pour transmettre 1MB à 10 kb/s? La taille du message est $M = 8 \cdot 10^6$ bits, et $b = R = 10^4$ bits/sec, soit un temps $M/b = 800$ secondes.

Délai de propagation. Temps pour que le début du signal voyage de A vers B .

$D = L/c$, où L est la longueur du lien et c la vitesse du signal (vitesse de la lumière).



Cuivre: $c = 2.3 \times 10^8 m/s$; verre: $c = 2 \times 10^8 m/s$.

Il faut compter environ 5μ sec / km (tour de la terre en 0.2 sec).

Débit (throughput). Nombre de bits utiles par unité de temps.

Différent du débit binaire: surcoût du protocole, temps d'attente. Par exemple, pour envoyer un message de 1 octet avec UDP, on crée un paquet Ethernet de 53 octets, et si le débit binaire $b = 64kb/s$, on ne peut obtenir qu'un débit de $1.2kb/s!$

Protocole Stop-and-Go. Possibilité de pertes de paquets: on peut demander des accusés de réception pour s'assurer que les paquets ont été bien reçus.

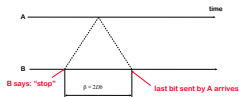
Protocole Stop-and-Go: si A envoie à B un message M , B envoie un accusé de réception (de taille M') lorsqu'il a reçu M (au temps $D + M/b$), et A attend d'avoir reçu cet accusé avant d'envoyer le message suivant.

Le débit est défini comme le nombre de bits utiles divisé par le temps de cycle, soit

$$\text{débit} = \frac{M}{M/b + 2D + M'/b} = \frac{M}{1 + M'/M + 2Db/M}$$

M'/M est le surcoût lié aux accusés de réception (acks).

$b = 2Db$ est le **produit bande-passante délai**, c'est le nombre de bits reçus entre le moment où A dit qu'il ne veut plus rien recevoir, et le moment où il arrête effectivement de recevoir.



2 La couche 2-liaison

Protocoles usuels: Ethernet, PPP, Frame Relay, IEEE 802.11.

Services fournis:

- Tramage: ajout d'une entête aux paquets (adresse physique du noeud destinataire, différente de l'adresse IP de la couche réseau).
- Accès à la liaison: couche MAC (Medium Access Control).
- Transfert fiable: acquittements/retransmissions. Facultatif, sur les liens à fort taux d'erreur.
- Contrôle de flux.
- Détection/correction d'erreurs.
- Exploitation duplex (transmission et réception simultanées).

Certains services sont identiques à ceux fournis par la couche transport, mais ne sont pas de "bout en bout".

Chaque noeud a un adaptateur réseau avec une adresse MAC unique ($48 = 6 \times 8$ bits, noté en hexa par exemple 08:A1:21:71:0D:E4).

2.1 Détection et correction d'erreurs

BER: Bit Error Rate: erreurs liées à la couche physique lors de la transmission des bits. Le BER vaut $\frac{1}{4}10^{-10}$ sur un câble, et peut monter à 10^{-4} pour le Wifi. On veut que la couche MAC délivre des paquets sans erreurs: supprimer les paquets avec erreurs.

Utilisation de CRC: Cyclic Redundancy Checksum (32 bits pour Ethernet).

Simple test de parité: permet de détecter une erreur avec un bit de parité:

01001001|1 \rightsquigarrow 11001001|1 \rightarrow Trame fautive!

Parité à deux dimensions: permet de corriger une erreur. Parité par ligne et par colonne:

1100|1

1001|0

1101: erreur sur la première ligne et la première colonne!

CRC. Générateur G , constitué de $r + 1$ bits, connu de l'expéditeur et du récepteur.

Pour envoyer un message D de d bits, on y rajoute r bits R à la fin, obtenant $\langle D + R \rangle = D \cdot 2^r \text{ XOR } R$ (on décale D de r cases à gauche).

On choisit R pour que $\langle D + R \rangle$ soit divisible par G :
 $D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$; $D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$; $\Rightarrow R = \text{reste}\left(\frac{D \cdot 2^r}{G}\right)$.

2.2 Partage de liens dans la couche MAC

Cable / Médium partagé:

- Décodage joint: compliqué!
- Exclusion mutuelle: une seule communication à la fois.

La couche MAC fournit l'exclusion mutuelle! Si un noeud envoie R bits/sec, avec M noeuds en parallèle, on obtient en moyenne R/M bits/sec. Protocole simple (peu coûteux à implémenter) et complètement distribué.

2.2.1 Aloha

Utilise des accusés de réception et des timers.

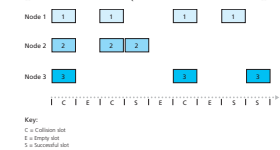
Collision: 2 transmissions de paquets se recouvrent. Dans ce cas, les paquets sont perdus et il faut retransmettre.

Version **Pure Aloha**:

- Envoi du paquet
- Attente ACK ou time-out
- Si pas d'ACK (time-out), attendre temps aléatoire et retransmettre.

2.2.2 Slotted Aloha

Même principe mais on synchronise les envois en découpant le temps. C'est plus efficace que pure aloha (environ 2 fois plus efficace), mais besoin de synchronisation!



2.2.3 CSMA

Amélioration par rapport à Aloha: écouter avant de parler!

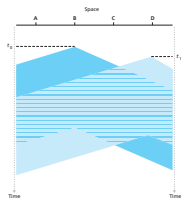
CSMA = Carrier Sense Multiple Access.

Version **CSMA**:

- Attendre que le canal soit libre
- Envoi du paquet
- Attente ACK ou time-out
- Si time-out, attendre temps aléatoire et recommencer.

Améliore Aloha en évitant certaines collisions, mais le risque de collisions existe toujours (délai de propagation). Besoin de support matériel pour "écouter".

Exemple de collision entre B et D:



Peu de collisions si le temps de transmission est beaucoup plus grand que le temps de propagation: produit bande-passante délai \ll taille des trames.

2.2.4 CSMA/CD = Ethernet

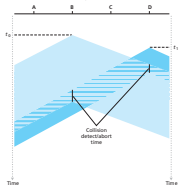
CSMA + Collision Detection: détecte les collisions. On remplace donc les ACK par des CD.

Version **CSMA-CD**:

- Attendre que le canal soit libre
- Envoi du paquet et écouter
- Attente (fin de transmission) ou (collision détectée)
- Si collision, envoi de 32 bits de jam puis arrêter la transmission, attendre temps aléatoire et recommencer.
- Sinon, attente délai intertrame (9.6 μ secondes).

Pas besoin d'ACK car l'absence de collisions signifie que la trame a pu être transmise.

Délai intertrame: permet d'éviter les temps "aveugles" alors que les adaptateurs filtrent du bruit.



Meilleure performance que Aloha ou CSMA.

Recul exponentiel (*exponential backoff*).

$k = \min(NbTentatives, 10)$ = le nombre de collisions successives, majoré par 10.

$r = random(0, 2^k - 1) \times SlotTime$, où $SlotTime = 512 \times$ le temps de transmission d'un bit (soit 51,2 μ sec à 10 Mb/s).

Premier essai: $k = 1$, et $r = 0$ ou $r = SlotTime$.

Deuxième essai (si le premier a échoué): $k = 2$, et $r = 0, 1, 2$ ou $3 \times SlotTime$.

...

Après 10 tentatives ou plus, $r \in [0, 1, \dots, 1023] \times SlotTime$.

Détecter les collisions. On veut s'assurer que toutes les collisions sont détectées. Exemple où les collisions ne sont pas détectées si le message envoyé est très court.

Si on envoie α bits avec un taux b , il faut $\frac{\alpha}{b} > 2D$. Autrement dit, les messages doivent être de taille supérieure à $\beta = 2Db$ (on retrouve le produit bande-passante délai!).

Ethernet. On fixe $\beta = 512bits = 64B$ (produit bande-passante délai + marge de sécurité). Toutes les trames doivent être de taille au moins β . Ainsi,

- toutes les collisions sont détectées par la source lors d'une transmission;
- les trames en collision sont plus petites que β .

Le diamètre du réseau doit être plus petit si on augmente la bande passante. Ainsi, 10 Mb/s \sim 2km, 100 Mb/s \sim 200m, et pour Ethernet 1Gb/s, on n'utilise pas CSMA/CD.

Ethernet, c'est donc CSMA/CD + exponential backoff. Pas besoin d'ACK, les collisions sont détectées. Délai entre l'envoi de 2 trames de 9.6 μ sec (filtrer les bruits). Les trames ont une taille entre 64 B (pour CSMA/CD) et 1500 B + header (pour la taille des buffers).

Les adresses MAC source et destination sont dans la trame. Les trames sont lues par toutes les machines connectées. Trame conservée ssi je suis le destinataire.

Todo: Lire la feuille décrivant les trames Ethernet (distribuée en cours).