Répétitions du Cours d'Introduction aux Réseaux Informatiques

Méthodes d'accès dans les réseaux locaux

François Cantin

Département Montefiore
Research Unit in Networking
Université de Liège

Année académique 2008–2009

Contact

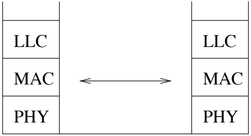
- Bureau : Institut Montefiore (B28), I77a.
- Email : cantin@run.montefiore.ulg.ac.be.
- Téléphone : 04 366 26 94.

Table des matières

Table des matières

La couche MAC

Les protocoles utilisés pour déterminer la station qui pourra émettre sur un canal à accès multiples et pour résoudre les collisions éventuelles appartiennent à une sous-couche de la couche liaison de données : la couche MAC (Medium Access Control).



Allocation dynamique (ALOHA, CSMA, ...) $\neq$ statique (FDM, TDM). Cette répétition étudie essentiellement la méthode d'accès utilisée dans les réseaux 802.3 (CSMA/CD).

CSMA/CD - Principes

CSMA : Avant d'émettre une trame, la station écoute d'abord le câble. Si le canal est occupé, elle attend qu'il soit libre (CSMA persistant) ou elle attend un temps aléatoire (CSMA non persistant) et recommence. Si le canal est libre, elle transmet l'entièreté de sa trame avec une certaine probabilité p (CSMA p-persistant).

CSMA/CD : Avec CSMA, une fois qu'elle a commencé à émettre, la source n'écoute plus le canal et envoie l'entièreté de sa trame. Avec CSMA/CD, la source écoute le canal pendant qu'elle émet et si elle détecte une collision, elle stoppe son émission. Un réseau 802.3 fonctionne en CSMA/CD 1-persistant.

CSMA/CD - Principes (2)

Après une collision, le temps est divisé en slots de 2τ secondes (le double du plus long temps de propagation : si on arrive à transmettre pendant ce temps, on est certain que la trame ne subira pas de collision). Nous allons envisager deux modes de fonctionnement **en cas de collision** :

p constant : On a une probabilité constante p ($\neq$ du p de p-persistant) de retransmission dans un slot pour chaque station. Cette probabilité garantit que chaque station restera en attente pendant un temps aléatoire avant de réessayer d'émettre.

Algorithme exponentiel de backoff (p adaptatif) : Avant de pouvoir retransmettre sa trame, chaque station doit attendre un nombre aléatoire de slots compris entre 0 et $2^i - 1$ (bornes incluses) où i est le nombre de collisions déjà subies.

CSMA/CD - Principes (3)

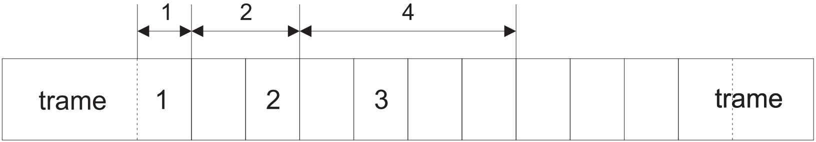


Table des matières

Performance du 802.3 (p constant)

Soient les hypothèses suivantes :

- k stations toujours prêtes à transmettre.
- probabilité constante p de (re)transmission dans un slot pour chaque station.

La probabilité qu'une des stations acquiert le canal dans un slot (libre) est :

$$\begin{aligned} A &= \sum_{i=1}^{k} p\,(1-p)^{k-1} \\ &= kp\,(1-p)^{k-1} \end{aligned}$$

A est maximum quand $p = 1/k$ avec $A \to 1/e$ quand $k \to \infty$.

Performance du 802.3 (p constant) (2)

Nous allons déduire de A le nombre moyen de slots N par période de contention. Deux méthodes :

- La probabilité de n'attendre qu'un slot (la collision initiale puis transmission sans collision) vaut A,
  La probabilité d'en attendre 2 vaut $(1 - A)A$,
  La probabilité d'en attendre 3 vaut $(1 - A)^2A$, ...
  Donc :

$$
\begin{aligned}
N &= \sum_{i=1}^{\infty} P[\text{exactement i slots}] \cdot i \\
&= \sum_{i=1}^{\infty} (1 - A)^{i-1} \, A \, i = 1/A
\end{aligned}
$$

Performance du 802.3 (p constant) (3)

- Posons X le nombre de slots moyen par période de contention sans compter l'inévitable collision initiale ($N = X + 1$). Une machine désirant émettre a une probabilité A de le faire sans attendre de slot et une probabilité $1 - A$ de le faire en attendant $1 + X$ slots (la situation après la collision est identique à celle avant la collision, mais un slot a été perdu). Donc :

$$\begin{aligned} X &= A \cdot 0 + (1 - A) \cdot (X + 1) \\ N &= X + 1 = 1/A \end{aligned}$$

Le nombre moyen de slots par période de contention est $1/A$. L'efficacité du canal est (T est le temps de transmission d'une trame) :

$$\frac{T}{T + 2\tau/A}$$

Table des matières

Exercice 1

Considérons un réseau CSMA/CD de 1 km fonctionnant à 1 Gbps. La vitesse de propagation du signal est égale à 200000 km/s.

1. Quelle est la taille minimale de la trame ?
2. Quelle devrait être la longueur maximale du câble si l'on voulait conserver les caractéristiques des réseaux 802.3 ?

Résolution exercice 1

1. La taille minimale de la trame doit permettre la détection d'une collision par la station émettrice ($2\tau \leq T$) :

$$2 \cdot \frac{1 \text{ km}}{200000 \text{ km/s}} \leq \frac{L_t}{10^9 \text{ bps}}$$

   Donc la longeur de la trame doit être $\geq$ 1250 bytes.

2. La standard 802.3 fixe la taille minimale d'une trame à 64 bytes. Il faut :

$$2 \cdot \frac{L_c \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \leq \frac{64 \cdot 8 \text{ bits}}{10^9 \text{ bps}}$$

   Donc la longueur maximale du câble est 51.2 m.

Exercice 2

La taille d'un réseau de type 802.3 est de 500 mètres et la taille des trames de données est fixée à 500 bits. Pour faciliter les calculs, on suppose que la probabilité qu'une station utilise un slot ne varie pas pendant la durée de la contention ($\Rightarrow p$ constant).

1. Déterminez le taux d'utilisation maximal du réseau si le nombre moyen de stations en attente d'émission est fixé à 3. Quel est le nombre moyen de slots perdus pendant la période de contention.
2. Même question si le nombre de stations en attente d'émission est très grand.

Résolution exercice 2

1. L'efficacité $\frac{T}{T+2\tau/A}$ est maximale quand A est maximum, donc quand $p = 1/k$. On a donc $p = 1/3$.
   Le nombre moyen de slots perdus pendant la contention est :
   $$\frac{1}{A} = \frac{1}{(1-1/3)^2} = 2.25$$
   Le temps de propagation maximum est :
   $$\tau = 500/2 \cdot 10^8 = 2.5\ \mu\text{s}$$
   On en déduit que le taux d'utilisation maximal du réseau est :
   $$\frac{500/10^7}{500/10^7 + 2 \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} \cdot 2.25} = 81.6\%$$
2. Si le nombre de stations en attente d'émission est très grand, on a $1/A \approx e$ et l'efficacité devient 78.7%.

Exercice 3

Un réseau de type CSMA/CD se compose de deux stations utilisant l'algorithme de backoff quand une collision se produit. Au départ, les deux stations émettent simultanément une trame sur le support physique.

1. Déterminez la probabilité qu'il n'y ait pas plus de deux collisions successives après la collision initiale.
2. Déterminez la durée moyenne de la contention si cinq collisions successives se sont produites.

Résolution exercice 3

Comme les deux stations émettent simultanément, la collision est inévitable. Si une i$^{\text{ème}}$ collision se produit, chaque station doit attendre un nombre aléatoire de slots compris entre 0 et $2^i - 1$. Si les deux stations ont attendu un nombre de slots différents, il n'y aura pas de collision car les stations écoutent le câble.

Après la collision initiale, la probabilité P_k de devoir retransmettre k fois la trame d'information ($k - 1$ collisions) se déduit de l'algorithme de backoff :

$$\begin{aligned}
P_k &= P(\text{"Col. les } k-1 \text{ premiers essais et pas au } k\text{ième"}) \\
&= P(\text{"Col. à l'essai 1"}) \times \cdots \times P(\text{"Col. à l'essai } k-1\text{"}) \\
&\quad \times (1 - P(\text{"Col. à l'essai } k\text{"}))
\end{aligned}$$

Résolution exercice 3 (2)

$$
\begin{aligned}
& P(\text{"Col. à l'essai } i\text{"}) \\
= \; & P(\text{"Les stations choisissent le même slot parmis } 2^i\text{"}) \\
= \; & P(\text{"Les stations choisissent le slot 1 parmis } 2^i\text{"}) + \cdots \\
& + P(\text{"Les stations choisissent le slot } 2^i \text{ parmis } 2^i\text{"})
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
& P(\text{"Les stations choisissent le slot } j \text{ parmis } 2^i\text{"}) \\
= \; & P(\text{"}St1 \text{ choisit le slot } j \text{ et } St2 \text{ choisit le slot } j\text{"}) \\
= \; & P(\text{"}St1 \text{ choisit le slot } j\text{"}) \times P(\text{"}St2 \text{ choisit le slot } j\text{"}) \\
= \; & \frac{1}{2^i} \times \frac{1}{2^i}
\end{aligned}
$$

Résolution exercice 3 (3)

$$\Rightarrow P(\text{"Col. à l'essai } i\text{"}) = \sum_{j=1}^{2^i} \frac{1}{2^i} \times \frac{1}{2^i} = 2^i \times \frac{1}{2^i} \times \frac{1}{2^i} = \frac{1}{2^i}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_k &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2^2} \times \cdots \times \frac{1}{2^{(k-1)}} \times \left(1 - \frac{1}{2^k}\right) \\ &= \left(\prod_{i=1}^{k-1} \frac{1}{2^i}\right) \times \frac{2^k - 1}{2^k} \end{aligned}$$

Résolution exercice 3 (4)

1. Pas plus de deux collisions après la collision initiale implique de devoir retransmettre la trame soit une fois (pas de collision), soit deux fois (une collision), soit trois fois (deux collisions) :

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 + P_3 \\ &= 0.5 + 0.375 + 0.109 \\ &= 98.4\% \end{aligned}$$

2. La durée de la contention est au minimum égale au premier slot perdu par la collision initiale. Si une deuxième collision se produit, on perd un ou deux slots. Si une troisième collision se produit, on perd de 1 à 4 slots, ...

$$\begin{aligned} \text{contention} = &\ \text{collision initale} \\ &+ \text{quatre collisions successives} \\ &+ \text{attente moyenne avant envoi sans collision} \end{aligned}$$

Résolution exercice 3 (5)

Le nombre moyen de slots perdus dans un intervalle de contention de n slots est :

$$\sum_{j=1}^{n} P(\text{"Perdre } j \text{ slots"}) \cdot j$$

On a $n = 2^i$ où i est le nombre de collisions déjà subies et $P(\text{"Perdre j slots"}) = 1/n = 1/2^i$. Finalement :

$$\text{contention} = 1 + \sum_{i=1}^{4} \frac{\sum_{j=1}^{2^i} j}{2^i} + \frac{2^5 - 1}{2} = 33.5 \text{ slots}$$

Remarque : L'attente moyenne avant envoi sans collision (après 5 collisions) est obtenue en retirant 1 au nombre moyen de slots perdus dans un intervalle de contention de 2^5 slots (le slot utilisé pour l'envoi n'est pas un slot perdu) $\Rightarrow \frac{2^5+1}{2} - 1 = \frac{2^5-1}{2}$.

Exercice 4 (inspiré de l'examen de décembre 2003)

Deux machines se partagent un segment de réseau 802.3 (CSMA/CD, 10 Mb/s). Chacune veut émettre exactement 2 trames de 1000 bits aussi vite que possible. Elles commencent à les émettre en même temps.

La durée d'un slot de contention a été fixée à $2\tau = 2 \cdot 10^{-6}$ s. Lorsque plusieurs machines veulent accéder au réseau 802.3, on supposera la probabilité de retransmission dans un slot constante et égale à $p = 1/2$.

On demande :

1. de calculer la durée moyenne d'envoi des 2 premières trames ;
2. de calculer la durée moyenne d'envoi des 4 trames.

Résolution exercice 4

- La durée moyenne de la période de contention lorsque deux machines veulent émettre est $C = 2\tau/A$. Comme A vaut $kp\,(1-p)^{k-1}$ avec $k = 2$ et $p = 1/2$, on a $C = 4 \cdot 10^{-6}$ s. La transmission d'une trame dure

$$T = \frac{1000 \text{ b}}{10 \cdot 10^6 \text{ b/s}} = 10^{-4} \text{ s}$$

Chaque transmission de trame est précédée par une période de contention, ce qui peut se représenter comme ceci :

$$\mathrm{C} \longrightarrow \mathrm{T} \longrightarrow \mathrm{C} \longrightarrow \mathrm{T}$$

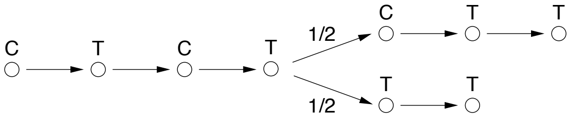
La durée moyenne d'envoi des deux trames est donc données par l'expression

$$C + T + C + T = 2 \cdot 4 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Résolution exercice 4 (2)

- L'envoi des deux premières trames se fait comme expliqué dans la première partie de la solution. L'envoi des deux suivantes demande plus d'attention. La transmission de la troisième trame ne sera précédée d'une période de contention *que si les machines ont toutes deux une trame à émettre*.

  Cela a une probabilité 1/2 de se produire. La dernière trame n'est pas précédée d'une période de contention. Graphiquement, les différentes transmissions peuvent se représenter comme suit ; les flèches munies d'un chiffre renseignent la probabilité de l'alternative correspondante.



Résolution exercice 4 (3)

La durée moyenne d'envoi des quatre trames est donc :

$$\begin{aligned} 2C + 2T \quad &+ \quad \frac{1}{2}\,\text{Durée première alternative} \\ &+ \quad \frac{1}{2}\,\text{Durée seconde alternative} \end{aligned}$$

Soit :

$$2C + 2T + \frac{1}{2}(C + 2T) + \frac{1}{2}2T = 4,1 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{s}$$