

TD 1 : IEEE 802.11
Matière : Radiocommunications
Correction

PS : Cette correction contient les éléments nécessaires à la compréhension du TD. L'étudiant doit vérifier quand même l'exactitude de l'application numérique.

Exercice 1

Dans IEEE 802.11, une transmission de données d'utilisateurs nécessite, non seulement un temps qui dépend du débit de transmission (temps = taille des données /débit de transmission), mais aussi un autre temps qu'on appelle temps perdu (backoff, DIFS, SIFS, temps de transmission de (RTS, CTS, ACK), temps de collision, temps pour retransmettre en cas de retransmission, etc).

1. Dans l'exemple, le temps perdu est = temps (backoff, DIFS, SIFS, temps de transmission de (RTS, CTS, ACK)). La tranche du temps perdu qui ne dépend pas du débit de transmission est égale à (valeur en moyenne du temps de backoff + DIFS + 3SIFS).

$$\text{valeur en moyenne du temps de backoff} = \text{temps}_{\text{bo}} = \left(\frac{1}{32} \sum_{i=0}^{31} i \right) TS \quad (\text{TS pour Time Slot})$$

$$\text{temps}_{\text{bo}} = \left(\frac{1}{32} \frac{31 \times 32}{2} \right) TS = \frac{31}{2} TS$$

le temps perdu qui ne dépend pas du débit de transmission = temps perdu 1 =
 $\text{temps}_{\text{bo}} + \text{DIFS} + 3\text{SIFS}$

$$\text{AN : temps perdu 1} = \left(\frac{31}{2} \times 20 + 50 + 3 \times 10 \right) \mu s = 390 \mu s$$

2. L'entête +CRC = 34 octets.

Le nombre total d'octets, $\text{total}_{\text{octets}} = \text{taille}(\text{RTS}) + \text{taille}(\text{CTS}) + \text{taille}(\text{données}) + \text{taille}(\text{ACK})$

$$\text{AN : } = (20 + 14 + 1534 + 14) \text{ octets} = 1582 \text{ octets}$$

3. Le débit effectif = taille des données utilisateur / temps total de transmission

taille des données utilisateur = 1500 octets

temps total de transmission = $\text{temps}_{\text{total}} = \text{temps perdu} + \text{temps de transmission des données}$

temps perdu = temps perdu 1 + temps perdu 2, avec temps perdu 2 = temps de transmission de (RTS, CTS et ACK)

AN: pour un débit de transmission $D = 11 \text{ Mb/s}$

temps perdu 2 =

$$\left(\frac{14 \times 8}{11 \times 10^6} + \frac{20 \times 8}{11 \times 10^6} + \frac{14 \times 8}{11 \times 10^6} \right) s = (10,18 + 14,54 + 10,18) \times 10^{-6} s = 34,9 \times 10^{-6} s = 34,9 \mu s$$

$$\text{temps de transmission des données} = \frac{1534 \times 8}{11 \times 10^6} s = 1115,63 \times 10^{-6} s = 1115,63 \mu s$$

Le débit effectif =

$$\frac{1500 \times 8}{(390 + 34,9 + 1115,63) \times 10^{-6}} b/s = \frac{12000}{1540,53 \times 10^{-6}} b/s = 7,78 \times 10^6 b/s = 7,78 \text{ Mb/s}$$

Cet exercice a pour but de montrer, qu'à partir d'un débit de transmission D (11 Mb/s par exemple), on a une perte de débit (7,78 Mb/s pour 11 Mb/s) à cause des temps DIFS, SIFS, backoff et du temps de transmissions des trames de contrôle RTS, CTS et ACK.

Exercice 2

Soit D le débit de transmission et D_e le débit effectif à cause de la retransmission due à l'erreur.

La perte de débit = $(D - D_e)/D$

Soit L la taille en bits de la trame de données.

Soit t_{TD} le temps de transmission d'une trame de données. $t_{TD} = L/D$

La probabilité qu'une trame de taille L bits soit reçue avec succès = $P_s = (1 - \text{BER})^L$

La probabilité qu'une trame de taille L bits soit reçue avec erreur = $P_e = 1 - P_s = 1 - (1 - \text{BER})^L$

Pour transmettre une trame de données, il faut calculer le temps de transmission total pour réussir cette transmission.

Une trame est reçue avec succès après une seule de transmission ou après une transmission avec échec suivie d'une transmission avec succès.

Si N_e est le nombre en moyenne de transmissions correspondantes à une trame de données. Le temps total de transmission pour une seule trame de données est $N_e \cdot t_{TD}$

$D_e = L / (N_e \cdot t_{TD})$

Comment calculer N_e ?

On sait qu'une trame de données est envoyée une seule fois ou deux fois. Pour calculer N_e , il suffit de calculer la probabilité p_1 d'envoyer la trame de données une seule fois et la probabilité p_2 d'envoyer la trame de données deux fois.

$N_e = 1 \cdot p_1 + 2 \cdot p_2$

p_1 = probabilité que la trame arrive avec succès = P_s

p_2 = probabilité que la première transmission arrive avec erreur x probabilité que la trame retransmise arrive avec succès = $P_e \cdot 1 = P_e$

(dans l'exercice on a supposé que toute deuxième tentative est avec succès donc sa probabilité est égale à 1)

$N_e = P_s + 2P_e = P_s + 2(1 - P_s) = 2 - P_s$

$D_e = L / (N_e \cdot t_{TD}) = L / (N_e \cdot L/D) = D/N_e = D / (2 - P_s)$

La perte de débit = $(D - D_e)/D = 1 - 1/N_e = 1 - 1/(2 - P_s) = 1 - 1/(2 - (1 - \text{BER})^L)$

AN : La perte de débit = $1 - 1/(2 - (1 - 10^{-5})^{1534 \times 8})$ pour $L = 1534 \times 8$ bits
= 0,10 = 10%

Remarque : nous avons négligé dans cet exercice le temps perdu nécessaire pour que la source soit informée que la trame est erronée et qu'elle doit retransmettre.

Chaque source transmettant une trame de données, doit attendre un acquittement (qui pourrait être positif ou négatif). Même s'il y a collision, la source se rendra compte qu'il y a eu échec si elle ne reçoit pas d'acquittement après la transmission de données.

Après chaque transmission de données, il faut alors toujours prévoir un temps qui est le temps d'attente d'un acquittement. Ce dernier pourrait être reçu ou non reçu. La retransmission a lieu si on reçoit un acquittement négatif ou s'il y a absence d'acquittement. Cette remarque est valable aussi pour les exercices 4 et 5.

Exercice 4

Le principe de cet exercice est comme celui de l'exercice 2. Une seule hypothèse qui change : la trame de données peut être retransmise n fois, n allant de 0 à l'infini. On n'est plus donc dans le cas où s'il y a retransmission, forcément il y a un succès.

On suit le même raisonnement fait dans l'exercice 2. Ce qui change est juste l'expression de N_e . Soient les probabilités suivantes :

p_1 = probabilité que la trame arrive avec succès = P_s

p_2 = probabilité que la première transmission arrive avec erreur x probabilité que la trame retransmise arrive avec succès = $P_e \times P_s$

p_3 = probabilité que les deux premières transmissions arrivent avec erreur x probabilité que la trame retransmise pour la troisième fois, arrive avec succès = $(P_e)^2 \times P_s$

etc

p_n = probabilité que les $(n-1)$ premières transmissions arrivent avec erreur x probabilité que la trame retransmise pour la $n^{\text{ème}}$ fois, arrive avec succès = $(P_e)^{n-1} \times P_s$

etc

$$N_e = 1 \cdot p_1 + 2 \cdot p_2 + 3 \cdot p_3 + \dots + n \cdot p_n + \dots$$

$$N_e = P_s + 2 P_e P_s + 3 (P_e)^2 P_s + \dots + n (P_e)^{n-1} P_s + \dots$$

On remplace P_s par son expression $1 - P_e$, on alors

$$N_e = 1 - P_e + 2 P_e(1 - P_e) + 3(P_e)^2 (1 - P_e) + \dots + n (P_e)^{n-1} (1 - P_e) + \dots$$

$$N_e = 1 + P_e + (P_e)^2 + (P_e)^3 + (P_e)^4 + \dots + (P_e)^n + \dots$$

c'est la somme d'une suite géométrique de raison $P_e < 1$

On a alors

$$N_e = 1/(1 - P_e)$$

$$\text{La perte de débit} = (D - D_e)/D = 1 - 1/N_e = P_e$$

Exercice 6

1. Cas 1

a. L'ordre est A, B, C et D. Puisque tous les nœuds sont l'un à la portée de l'autre, une seule transmission est possible à la fois. Celui qui possède le backoff le plus petit accède le premier au médium.

b. Il suffit de faire le schéma de déroulement des transmissions.

On pose $T1 = \text{Temps(RTS)} + \text{temps(CTS)} + \text{temps(Data)} + \text{temps(ACK)} + 3\text{SIFS}$

A transmet à l'instant $TDA = \text{DIFS} + \text{Bo(A)}$

A finit à l'instant $TFA = TDA + T1$

B transmet à l'instant $TDB = TFA + \text{DIFS} + \text{Bo(B)} - \text{Bo(A)}$

B finit à l'instant $TFB = TDB + T1$

C transmet à l'instant $TDC = TFB + \text{DIFS} + \text{Bo(C)} - \text{Bo(B)}$

C finit à l'instant $TFC = TDC + T1$

D transmet à l'instant $TDD = TFC + \text{DIFS} + \text{Bo(D)} - \text{Bo(C)}$

D finit à l'instant $TFD = TDD + T1$

c. Le débit effectif = taille des données envoyées / temps de transmission de ces données

la taille des données envoyées = 4 x taille d'une trame de données

temps de transmission de ces données = TFD

Quand on fait l'application numérique on va trouver un débit moindre que 11 Mb/s.

Cas 2

a. L'ordre est : A et C en parallèle (A commence après $\text{DIFS} + 5\text{TS}$ et C commence après $\text{DIFS} + 15\text{TS}$) puis B et D en parallèle (B commence après $\text{Fin(A)} + 5\text{TS}$ et D commence après $\text{Fin(C)} + 5\text{TS}$).

A accède au médium puisqu'elle possède la plus petite valeur de BO. B est dans sa portée, elle doit alors attendre la fin de transmission de A.

C n'est pas dans la portée de A et a un $\text{BO} <$ à celui de D, elle accède alors au médium, après avoir terminé son BO. D doit attendre la fin de transmission de C.

b.

A transmet à l'instant $TDA = \text{DIFS} + \text{Bo(A)}$

A finit à l'instant $TFA = TDA + T1$

B transmet à l'instant $TDB = TFA + \text{DIFS} + \text{Bo(B)} - \text{Bo(A)}$

B finit à l'instant $TFB = TDB + T1$

C transmet à l'instant $TDC = \text{DIFS} + \text{Bo(C)}$

C finit à l'instant $TFC = TDC + T1$

D transmet à l'instant $TDD = TFC + \text{DIFS} + \text{Bo(D)} - \text{Bo(C)}$

D finit à l'instant $TFD = TDD + T1$

c. Le débit effectif = taille des données envoyées / temps de transmission de ces données

la taille des données envoyées = 4 x taille d'une trame de données

temps de transmission de ces données = TFD

Quand on fait l'application numérique on va trouver un débit moindre que 2×11 Mb/s

(puisque nous avons deux transmissions en parallèle).

2. Si B et C deviennent l'un à la portée de l'autre:

A a le plus petit backoff, donc il va envoyer son RTS en premier. B bloque son backoff à 5 TS et répond par un CTS. Le CTS est reçu par A et C. C aussi va bloquer son backoff et met à jour son NAV. D va continuer à décrémenter son BO puis envoie un RTS à C mais C ne répond pas car son NAV n'est pas à 0, C attend la fin de transmission entre A et B.

Exercice 5

1. S'il n'y a pas de pertes de trames dues à l'erreur, on est dans le scénario de l'exercice 1. La perte de débit est due au temps perdu (DIFS+BO+3SIFS+temps(RTS, CTS, ACK)).
Le débit effectif est calculé de la même façon que dans l'exercice 1.
2. a. La perte de débit est comme dans l'exercice 2,
 $= 1 - 1/(2 - (1 - 10^{-5})^{1534 \times 8})$ pour $L = 1534 \times 8$ bits
 $= 0,10 = 10\%$

b. Dans cette question on va considérer la perte due à l'erreur et la perte due au temps perdu (DIFS+BO+3SIFS+temps(RTS, CTS, ACK)).

On applique toujours la définition générale du débit effectif qui est :

taille des données/temps nécessaire pour transmettre avec succès ces données

taille des données = 1500 octets

Soit T, le temps nécessaire pour transmettre avec succès ces données

$T = \text{temps perdu} + \text{temps de transmission des données}$

Le temps perdu est comme dans l'exercice 1.

temps perdu = temps perdu 1 + temps perdu 2, avec temps perdu 2 = temps de transmission de (RTS, CTS et ACK)

Le temps de transmission de données = $N_e \times \text{temps de transmission d'une trame de données}$, avec N_e est le nombre de transmissions en moyenne d'une trame de données (puisque une transmission pourrait être erronée et retransmise plus d'une fois).

Selon l'hypothèse, on prend N_e de l'exercice 2.

AN :

$$N_e = (2 - (1 - 10^{-5})^{1534 \times 8}) = 1,11$$

le temps de transmission avec succès les données =

$$\frac{N_e \times 1534 \times 8}{11 \times 10^6} s = 1,11 \times 1115,63 \times 10^{-6} s = 1244,47 \mu s$$

Le débit effectif =

$$\frac{1500 \times 8}{(390 + 34,9 + 1244,47) \times 10^{-6}} b/s = \frac{12000}{1669,37 \times 10^{-6}} b/s = 7,18 \times 10^6 b/s = 7,18 Mb/s$$

3. On a 4 types de trames (RTS, CTS, DATA et ACK), chaque trame avec son entête physique nécessitera un temps de transmission égal à : temps de transmission de la taille de la trame + temps de transmission de l'entête de la couche physique.

AN :

le temps de transmission avec succès les données =

$$N_e \times \left(\left(\frac{1534 \times 8}{11 \times 10^6} \right) + 192 \times 10^{-6} \right) s = 1,11 \times 1307,63 \times 10^{-6} s = 1451,47 \mu s$$

temps perdu 2 =

$$\left(\frac{14 \times 8}{11 \times 10^6} + 192 \times 10^{-6} + \frac{20 \times 8}{11 \times 10^6} + 192 \times 10^{-6} + \frac{14 \times 8}{11 \times 10^6}\right) + 192 \times 10^{-6} s$$

temps perdu 2=

$$(10,18 + 192 + 14,54 + 192 + 10,18 + 192) \times 10^{-6} s = 610,9 \times 10^{-6} s = 610,9 \mu s$$

Le débit effectif =

$$\frac{1500 \times 8}{(390 + 610,9 + 1451,47) \times 10^{-6}} b/s = \frac{12000}{2452,37 \times 10^{-6}} b/s = 4,89 \times 10^6 b/s = 4,89 Mb/s$$

Exercice 3

1. $FER = 1 - (1-BER)^N$
2. Selon l'hypothèse de l'exercice, les scénarios possibles sont les suivants (AE pour Avec Erreur et SE pour Sans Erreur) :

cas A : RTS(SE)+CTS(SE)+DATA(SE)+ACK(SE)

cas B : RTS(AE)+RTS(SE)+CTS(SE)+DATA(SE)+ACK(SE)

cas C : RTS(SE)+CTS(AE)+RTS(SE)+CTS(SE)+DATA(SE)+ACK(SE)

cas D : RTS(SE)+CTS(SE)+DATA(AE)+RTS(SE)+CTS(SE)+DATA(SE)+ACK(SE)

cas E : RTS(SE)+CTS(SE)+DATA(SE)+ACK(AE)+RTS(SE)+CTS(SE)+DATA(SE)+ACK(SE)

Tenant compte de tous ces scénarios, la trame RTS peut être envoyée 1 fois (cas A) ou 2 fois (Cas B, C, D et E), la trame CTS peut être envoyée 1 fois (Cas A et B) ou 2 fois (Cas C, D et E), la trame DATA peut être envoyée 1 fois (Cas A, B et C) ou 2 fois (Cas D et E) et la trame ACK peut être envoyée 1 fois (Cas A, B, C et D) ou 2 fois (Cas E).

Chacun de ces scénarios peut avoir lieu avec une certaine probabilité. On utilisera la notation suivante :

Prob(A), Prob(B), Prob(C), Prob(D) et Prob(E)

Prob(A) = Prob(RTS(SE))xProb(CTS(SE))xProb(DATA(SE))xProb(ACK(SE))

Prob(B) = Prob(RTS(AE))

Prob(C) = Prob(RTS(SE))xProb(CTS(AE))

Prob(D) = Prob(RTS(SE))xProb(CTS(SE))xProb(DATA(AE))

Prob(E) = Prob(RTS(SE))xProb(CTS(SE))xProb(DATA(SE))xProb(ACK(AE))

Il faut vérifier que la somme de ces probabilités est égale à 1.

A partir de la question 1 (il suffit de remplacer N par la taille de la trame en question), on peut calculer Prob(RTS(SE)) = 1- FER(RTS) , etc

a.

Prob(RTS 1 fois) = Prob(A)

Prob(RTS 2 fois) = Prob(B)+Prob(C)+Prob(D)+Prob(E) ou encore 1 – Prob(A)

$NE_{RTS} = 1. \text{ Prob(RTS 1 fois)} + 2. \text{ Prob(RTS 2 fois)}$

b, c, d, e. De même pour calculer NE_{CTS} , NE_{DATA} et NE_{ACK} .

f. On applique la définition du débt effectif qui est égal

taille des données/ temps nécessaire à la transmission

avec taille des données = 1500 octets

et temps nécessaire à la transmission =

$NE_{RTS} \times (\text{temps(RTS)}) + NE_{CTS} \times (\text{temps(CTS)}) + NE_{DATA} \times (\text{temps(DATA)}) + NE_{ACK} \times (\text{temps(ACK)})$

Remarque : pour la simplification, on a négligé le backoff et les intervalles de temps SIFS et DIFS.