

Homework assignment

LAN e reti wireless

Q1. Consideriamo una rete Ethernet con topologia a bus, lunga 200 metri, con frequenza di trasmissione di 5 Mbps e con velocità di propagazione di 2×10^8 m/sec. Al tempo t un nodo A della rete inizia la trasmissione di un frame, che subisce una collisione con la trasmissione di un altro nodo B. Indicare – giustificando la risposta – dopo quanto tempo nella rete non circolerà più certamente alcun jamming signal, nell'ipotesi che questi siano lunghi 48 bit.

Nel caso pessimo il ritardo di propagazione tra A e B è di $200/2 \times 10^8$ s = 1 μ s. Devono quindi trascorrere 3 μ s (1 per la propagazione del primo bit del frame inviato da A, 1 per la propagazione del primo bit del frame inviato da B subito prima di ricevere il primo bit di A e 1 per la propagazione del jamming signal inviato da A) oltre al tempo di trasmissione del primo bit del frame inviato da A e del jamming signal inviato da A, ovvero $(1+48)/5 \times 10^6$ s = 9,8 μ s. Quindi dopo 12,8 μ s nella rete non circolerà più certamente alcun jamming signal

Q2. In una rete Ethernet con topologia a bus, con bus lungo 200 metri, con velocità di trasmissione effettiva di 16 Mbps, con lunghezza del jamming signal di 48 byte, con slot di attesa pari al tempo di trasmissione di 512 byte, e con velocità di propagazione di 2×10^8 m/sec, due nodi A e B iniziano simultaneamente al tempo t ad inviare per la seconda volta un frame di 2400 byte. Un terzo nodo C inizia ad eseguire il protocollo per trasmettere un frame della stessa lunghezza a partire dal tempo $t+80$ microsecondi. Qual'è la probabilità che il frame di C venga trasmesso senza mai subire collisioni, se nessun altro nodo della rete vuole trasmettere e se il protocollo adotta il metodo **non** persistente? Giustificare la risposta.

La modalità non persistente, prevede che un nodo inizi a trasmettere solo se trova il canale libero, altrimenti aspetta un tempo casuale e ripete il protocollo. Quindi, due nodi collidono solamente se ascoltano il canale prima che arrivi loro la trasmissione dell'altro nodo. Nel nostro caso, se C ascolta il canale al tempo T , lo trova libero ed inizia a trasmettere, può avere collisione con A o B solo se questi hanno iniziato a trasmettere nell'intervallo $(T-1, T+1)$ (il tempo è espresso in microsecondi): infatti, nel nostro caso il ritardo di propagazione è di 1 microsecondo. Il tempo di trasmissione del jamming signal è di $48/2=24$ microsecondi, ed ogni slot di attesa (T_{fr}) è lungo $512/2=256$ microsecondi, mentre il tempo di trasmissione del frame di A e B è $2400/2=1200$ microsecondi. Quindi, C ascolterà il canale ai tempi $t+80+X256$, con X che può assumere valori non negativi (a seconda dei casi di collisione/attesa di A e B), mentre A e B lo faranno ai tempi $t+Y25+Z256$ (con Y e Z che possono assumere valori positivi): non può mai capitare che C collida con A o B, e quindi la probabilità richiesta è 1.

Q3. Supponiamo che solo due nodi (A e B) di una rete Ethernet debbano trasmettere un frame di dati. Supponiamo che al tempo t_0 entrambi i nodi inizino simultaneamente a tentare di trasmettere il proprio frame, A per la prima volta e B per la terza volta. Indicare – giustificando la risposta – se la probabilità che entrambi riescano a trasmettere con successo il proprio frame senza che si verifichino più di 2 collisioni a partire da t_0 è superiore al 99%.

Si. La probabilità che si verifichino al massimo 2 collisioni è infatti:

- nessuna collisione dopo quella che inizia a t_0 : A genera $K=0$ (o $K=1$) e B genera $K>0$ o ($K=0$ oppure $K>1$). In questo caso la probabilità è $2 \times (1/2 \times 7/8) = 7/8$

oppure

- una collisione dopo quella che inizia a t_0 : A e B generano 0 o 1, e poi A genera 0 o 1 o 2 o 3 e B genera un numero diverso da quello generato da A. In questo caso la probabilità è $(2 \times (1/2 \times 1/8)) \times (4 \times (1/4 \times 15/16)) = 1/8 \times 15/16 = 15/128$.

Quindi la probabilità totale è $7/8+15/128=(112+15)/128= 127/128 = 0,9921875$

Q4. Consideriamo una rete locale che utilizza il protocollo MAC Slotted Aloha p-persistente, con $p=0,75$, e supponiamo che un host A di tale rete trasmetta per la prima volta un frame durante lo slot S, rilevando una collisione. Indicare – giustificando la risposta – se la probabilità che A riesca a trasmettere quel frame con successo nello slot S+4 senza rilevare altre collisioni è superiore a 1/16.

Sia K_M il numero di slot da attendere scelto da A dopo avere rilevato una collisione nello slot M e sia R_N il numero scelto da A all'inizio dello slot N per la p-persistenza. A trasmette nello slot S+4 senza rilevare collisioni negli slot [S+1,S+3] solo se ($K_S=0 \& R_{S+1}>0.75 \& R_{S+2}>0.75 \& R_{S+3}>0.75 \& R_{S+4} \leq 0.75$) oppure ($K_S=1 \& R_{S+2}>0.75 \& R_{S+3}>0.75 \& R_{S+4} \leq 0.75$). Quindi A può trasmettere con successo nello slot S+4 con probabilità uguale a $(1/2 \times 1/4 \times 1/4 \times 1/4 \times 3/4) + (1/2 \times 1/4 \times 1/4 \times 3/4) = 3/2^9 + 3/2^7 = 15/2^9$, quindi minore di $1/2^4 = 32/2^9$

Q5. Il nodo A di una rete Ethernet con topologia a bus deve trasmettere per la prima volta un frame di 86 byte. Al tempo t_1 inizia ad eseguire il protocollo MAC per trasmettere quel frame. Supponendo che al tempo t_1 il canale sia libero, e che risulti libero per un tempo sufficiente ad iniziare a trasmettere il frame, che i nodi utilizzino la variante 1-persistente del protocollo, che la frequenza di trasmissione sia 10 Mbps, che il ritardo di propagazione sia 2 microsecondi, che il jamming signal sia 48 bit, che T_{fr} sia pari al tempo necessario per trasmettere 792 bit, che il tempo di sensing sia pari al tempo necessario per trasmettere 12 byte, indicare –giustificando la risposta– quale è il massimo tempo t_2 a cui A termina di trasmettere con successo il suo frame, se questo incorre in una sola collisione.

A attende un tempo di sensing (9,6 μ s) quindi inizia a trasmettere il frame. Al massimo dopo 4 μ s rileva l'avvenuta collisione, trasmette il jamming signal (4,8 μ s), attende il valore massimo possibile del tempo di attesa (79,2 μ s), attende di nuovo un tempo di sensing (9,6 μ s) e quindi trasmette il frame (68,8 μ s). Quindi il massimo tempo t_2 a cui A termina di trasmettere con successo il suo frame è $t_1 + (9,6+4+4,8+79,2+9,6+68,8) \mu$ s = $t_1 + 176 \mu$ s.

Q6. Si consideri una rete IEEE 802.11 in cui, al tempo t, un host A trasmette per la prima volta un RTS destinato all'host B, che però è spento, e rimarrà spento nelle successive 2 ore, e quindi non riceve il frame. Supponendo di trascurare i tempi di elaborazione, che A sia l'unico host che deve trasmettere, che la frequenza di trasmissione effettiva della rete sia di 8 Mbps, che i frame RTS e CTS siano lunghi 20 byte, che DIFS sia di 50microsecondi e SIFS sia di 16 microsecondi, che il tempo di slot (tempo da moltiplicare per il numero casuale generato) sia il tempo per trasmettere 512 bit, che il valore del timeout per decidere che il CTS relativo ad un RTS non è stato inviato è uguale a due volte il tempo che intercorre tra l'inizio dell'invio di un RTS e il tempo di ricezione del CTS ad esso relativo, che il raggio di trasmissione sia di 400 metri e la velocità di propagazione sia di $2 \cdot 10^8$ m/s, e che il limite per dichiarare che la comunicazione è fallita, e quindi interromperla è 16, qual'è il tempo *minimo* (a partire da t), impiegato da A per dichiarare fallimento? Giustificare la risposta.

A partire da t, A invia il RTS (tempo impiegato = $160/8 \times 10^{-6} = 20$ microsecondi), quindi attende un timeout (che richiede due volte 20 (tempo di trasmissione di RTS) + 4 (due ritardi di propagazione) + 16 (SIFS)+ 20 (tempo di trasmissione del CTS)= $2 \times 60 = 120$ microsecondi)), poi genera (nel caso migliore) R=0, e ripete il protocollo aspettando un DIFS = 50 microsecondi, e poi come sopra per altre 15 volte, il tempo minimo richiesto sarà di $140+15 \times 190$ microsecondi= 2990 microsecondi.

Q7. Consideriamo una rete locale che utilizza il protocollo MAC Slotted Aloha p-persistente, con $p=0,5$, che utilizza la tecnica binary exponential backoff in caso di collisioni, e supponiamo che un host A di tale rete trasmetta per la seconda volta un frame F durante lo slot X, rilevando una collisione. Indicare – giustificando la risposta – se la probabilità che A riesca a trasmettere F con successo nello slot X+3 senza rilevare altre collisioni è minore di $1/4$.

Si. Indichiamo con K_M il numero di slot da attendere scelto da A dopo avere rilevato una collisione nello slot M e sia R_N il numero scelto da A all'inizio dello slot N per la p-persistenza. A può riuscire a trasmettere F nello slot X+3 senza rilevare collisioni negli slot X+1 e X+2 solo se $(K_X=0 \ \& \ R_{X+1}>0.5 \ \& \ R_{X+2}>0.5 \ \& \ R_{X+3}\leq 0.5) \parallel (K_X=1 \ \& \ R_{X+2}>0.5 \ \& \ R_{X+3}\leq 0.5) \parallel (K_X=2 \ \& \ R_{X+3}\leq 0.5)$. Quindi A può riuscire a trasmettere con successo nello slot X+3 con probabilità minore uguale di $(1/4 \times 1/2^3) + (1/4 \times 1/2^2) + (1/4 \times 1/2) = 7/32 < 1/4=8/32$

Q8. Una rete locale utilizza il protocollo MAC Slotted Aloha in cui la gestione della ritrasmissione dei frames che hanno subito collisioni è uguale a quella del protocollo CSMA/CD, con il metodo di persistenza p-persistente con $p=0,8$. Nello slot X tre nodi della rete trasmettono simultaneamente un frame: il nodo A per la prima volta, il nodo B per la seconda e il nodo C per la terza. Qual'è la probabilità che nella ritrasmissione successiva questi frames non subiscano collisioni, e che avvenga nello slot X+3 per A e nello slot X+4 per B, ipotizzando che la notifica della collisione avvenga nello slot X+1 e che nessun altro nodo della rete trasmetta frames? Giustificare la risposta.

Sia $K(N)$ il valore di attesa generato dal nodo N. La probabilità che la ritrasmissione successiva di A sia nello slot X+3 è $1/5 \times 4/5 \times 1/2$ se viene generato $K(A)=0$, oppure $4/5 \times 1/2$ se $K(A)=1$. Per il nodo B, ritrasmissione nello slot X+4: $1/5 \times 1/5 \times 4/5 \times 1/4$, se $K(B)=0$ oppure $1/5 \times 4/5 \times 1/4$ se $K(B)=1$ oppure $4/5 \times 1/4$ se $K(B)=2$. Per il nodo C, questo non deve trasmettere né nello slot X+3 né nello slot X+4. La probabilità che trasmetta in X+3 è: $1/5 \times 4/5 \times 1/8$ se viene generato $K(C)=0$ oppure $4/5 \times 1/8$ se $K(C)=1$. Quella che trasmetta in X+4 è: $1/5 \times 1/5 \times 4/5 \times 1/8$ se $K(C)=0$ oppure $1/5 \times 4/5 \times 1/8$ se $K(C)=1$ oppure $4/5 \times 1/8$ se $K(C)=2$. Quindi, per A si ha che la probabilità che trasmetta nello slot X+3 è $2/25+2/5$; per B che trasmetta nello slot X+4 è $1/125+1/25+1/5$ e per il nodo C è: $1-(1/50+1/10 + 1/250+1/50+1/10)$. Pertanto, la probabilità richiesta è $12/25 \times 31/125 \times 189/250 = 70308/781250 = 0,0899942$.

Q9. Si consideri una rete Ethernet con topologia a bus, lunga 150 metri. La velocità di propagazione dei segnali nel bus è di 2×10^8 m/sec ed $R=12$ Mbps. Un host H inizia al tempo t ad inviare un frame lungo 256 byte, che subisce collisione. Qual'è il numero massimo di bit del frame che H riesce a trasmettere prima di iniziare ad inviare il jamming signal? Giustificare la risposta.

H si accorge della collisione (e quindi inizia ad inviare il jamming signal) quando riceve il primo bit trasmesso dall'altro host (quello con cui ha collisione). Al massimo, questo avviene dopo 2 volte il ritardo di propagazione, t_{prop} . Siccome $t_{prop}=150/2 \times 10^8=0,75 \times 10^{-6}$ sec., H si accorge della collisione dopo $1,5 \times 10^{-6}$ sec. (al massimo), durante i quali ha trasmesso $1,5 \times 10^{-6} \times 12 \times 10^6 = 18$ bit.

Q10. In una rete Ethernet con topologia a bus, due nodi A e B iniziano a trasmettere per la prima volta un frame al tempo t. Indicare –giustificando la risposta– quante collisioni soffrirà in totale il frame inviato da A se la probabilità di trasmissione con successo di tale frame è $15/1024$, sapendo che nessun altro nodo della rete deve trasmettere dati.

Dopo avere sofferto i collisioni, il frame soffre un'altra collisione con probabilità $1/2^i$ e può essere invece trasmesso con successo con probabilità $(2^i-1)/2^i$. Quindi, al numeratore le collisioni contribuiscono per 1, mentre il successo per 2^i-1 , e il valore del numeratore è il

prodotto di tali contributi. Se il numeratore vale 15, allora dobbiamo trovare il valore di i tale che $2^i - 1 = 15$, e cioè $i = 4$.

Q11. In una rete locale Slotted Aloha, il cui protocollo MAC utilizza il metodo della p -persistenza, il frame P del nodo A subisce per la seconda volta una collisione nello slot X . Sapendo che la probabilità che A trasmetta P per la terza volta nello slot $X+3$ è $2/9$, e che le collisioni vengono notificate nello slot successivo a quello in cui si verificano, indicare – giustificando la risposta – qual'è il valore utilizzato dal protocollo per la probabilità p della p -persistenza.

A trasmette in $X+3$ se $K(A) = 0$ e per una volta genera un valore R per la p -persistenza superiore a p , e un valore non superiore a p subito dopo, oppure se $K(A) = 1$ ed R è minore od uguale a p . Quindi, $1/4((1-p)p) + 1/4p = 2/9$, cioè $1/4(2p - p^2) = 2/9$ e pertanto $p^2/4 - p/2 + 2/9 = 0$ che ha due radici: $4/3$ (che essendo > 1 non è valida) e $2/3$. Pertanto, $p = 2/3$.

Q12. Consideriamo una rete locale che utilizza il protocollo MAC Slotted Aloha p -persistente, con $p = 0,5$, che utilizza la tecnica binary exponential backoff in caso di collisioni, e supponiamo che un host A di tale rete trasmetta un frame F durante lo slot X , rilevando una collisione. Indicare – giustificando la risposta – il massimo numero di volte che A può avere cercato di trasmettere F prima dello slot X , affinché A possa riuscire con probabilità maggiore di $1/8$ a trasmettere F con successo nello slot $X+2$ senza rilevare collisioni nello slot $X+1$.

Indichiamo con K_M il numero di slot da attendere scelto da A dopo avere rilevato una collisione nello slot M e sia R_N il numero scelto da A all'inizio dello slot N per la p -persistenza. A può riuscire a trasmettere F nello slot $X+2$ senza rilevare collisioni nello slot $X+1$ solo se $(K_X = 0 \ \& \ R_{X+1} > 0.5 \ \& \ R_{X+2} \leq 0.5) \parallel (K_X = 1 \ \& \ R_{X+2} \leq 0.5)$. Quindi A può riuscire a trasmettere con successo nello slot $X+2$ con probabilità minore uguale di $P = (1/W \times 1/2 \times 1/2) + (1/W \times 1/2) = 1/4W + 1/2W$. E' facile osservare che solo se $W = 2$ o $W = 4$ allora $P > 1/8$. Quindi A può avere cercato di trasmettere F al più 1 volta prima di X .

Q13. Si consideri una rete locale IEEE 802.11 con frequenza effettiva di trasmissione di 16 Mbps, raggio di trasmissione di 300 metri, velocità di propagazione di $2 \cdot 10^8$ m/s, e con RTS e CTS di 20 byte, ACK di 14 byte, DIFS di 50 microsecondi e SIFS di 16 microsecondi. Il valore del timeout per decidere che il CTS relativo ad un RTS non è stato inviato è uguale a due volte il tempo che intercorre tra l'inizio dell'invio di un RTS e il tempo di ricezione del CTS relativo. Nel caso di non ricezione del CTS, si adotta la tecnica del binary exponential backoff, con tempo di backoff T_B uguale al tempo di trasmissione di 64 byte. Un nodo N della rete inizia ad eseguire il protocollo per la trasmissione di un frame di 2700 byte al tempo t_0 e, la prima volta che trasmette il RTS, non riceve il CTS relativo, mentre la seconda volta lo riceve. Supponendo che nessun altro host della rete voglia trasmettere frames, dopo quanto tempo da t_0 N inizierà *in media* a trasmettere il frame? Giustificare la risposta.

Indichiamo con TO_{CTS} il tempo che intercorre tra l'inizio della trasmissione di un RTS e la fine della ricezione dell'eventuale CTS. Allora (i tempi sono tutti in microsecondi), $TO_{CTS} = 10$ (tempo di trasmissione di RTS) + 3 (due ritardi di propagazione) + 10 (tempo di trasmissione del CTS) + 16 (SIFS) = 39. Dal tempo t_0 , A dovrà attendere mediamente 50 (DIFS) + 39 (Primo tentativo di RTS) + 39 (prima che scada il timeout: timeout = 78) + 16 (metà tempo di backoff, visto che la media sarà di 0,5) + :ripete il protocollo 50 (DIFS) + 39 (secondo tentativo con successo) + 16 (SIFS prima di iniziare la trasmissione del frame) = 249 microsecondi.

Q14. Quali protocolli di livello di rete vengono utilizzati nella fase di agent discovery di IP Mobile? Giustificare la risposta.

ICMP che usa IP: quindi ICMP ed IP.

Q15. Consideriamo una rete locale IEEE 802.11 con frequenza di trasmissione di 10 Mbps, ritardo di propagazione di 0,8 microsecondi, velocità di propagazione di $2 \cdot 10^8$ m/s, e con RTS e CTS di 20 byte, ACK di 14 byte, DIFS di 50 microsecondi e SIFS di 16 microsecondi. Supponendo che all'istante t un host A inizi il protocollo per la trasmissione di un frame di 1500 byte e che nessun altro host della rete debba trasmettere frame, indicare– giustificando la risposta – dopo quanto tempo da t un altro host può iniziare la trasmissione di frame.

Il canale sarà di nuovo libero dopo $DIFS + d_{tras}(RTS) + d_{prop} + SIFS + d_{tras}(CTS) + d_{prop} + SIFS + d_{tras}(Dati) + d_{prop} + SIFS + d_{tras}(ACK) + d_{prop} =$

$(50+16+0,8+16+16+0,8+16+1200+0,8+16+11,2+0,8) \mu s = 1344,4 \mu s$. Quindi un altro host potrà iniziare la trasmissione di un frame dopo $(1344,4+50+16+0,8+16+16+0,8+16) \mu s = 1460 \mu s$.

Q16. In una rete Ethernet con topologia a bus, e con velocità di trasmissione di 8 Mbps, il jamming signal è lungo 48 bit, T_{fr} è uguale al tempo necessario per trasmettere 512 bit, e il tempo di sensing è di 56 msec. Al tempo t , il nodo A rileva la terza collisione subita dal frame che sta trasmettendo. Indicare-giustificando la risposta- in quale istante inizierà *mediamente* a trasmettere per la quarta volta quel frame, supponendo che la rete utilizzi il metodo 1-persistente, che tale trasmissione abbia successo e che il canale sia libero per tutto il tempo di sensing.

Dal tempo t , A trasmetterà il jamming signal (per un tempo di 6 msec), quindi aspetterà un tempo casuale che sarà X volte T_{fr} , dove $T_{fr}=64$ msec, quindi un tempo di sensing (uguale a 56msec) per un totale di $(6+64X+56)$ msec, dove X è il valore medio di $[0,7]$ e cioè $X=3.5$. Quindi, il tempo di attesa sarà di $6+224+56=286$ msec.

Q17. Una rete Ethernet con topologia a bus utilizza il metodo 1-persistente. I suoi nodi interrompono l'esecuzione del protocollo e dichiarano fallimento dopo 6 trasmissioni consecutive dello stesso frame senza successo. Al tempo t , quattro nodi della rete iniziano simultaneamente a trasmettere un frame per la prima volta. Qual'è la probabilità che tutti questi quattro nodi dichiarino fallimento, nell'ipotesi che nessun altro nodo della rete trasmetta a partire da t , e che le collisioni siano sempre tra tutti e quattro? Giustificare la risposta.

La probabilità che i quattro nodi collidano per la i -esima volta, cioè che tutti e quattro scelgano per la i -esima volta di aspettare lo stesso tempo, è $2^i/2^{4i} = 1/2^{3i}$. Quindi, la probabilità richiesta è $1 \times 1/2^3 \times 1/2^6 \times 1/2^9 \times 1/2^{12} \times 1/2^{15} = 1/2^{45}$. Il caso più generale in cui si considerino anche le collisioni tra coppie di nodi genera moltissimi sottocasi, troppi per il tempo a disposizione.

Q18. Indicare-giustificando la risposta- se è possibile o meno che in una rete IEEE 802.11, il CTS inviato dal nodo S in risposta ad un RTS inviato dal nodo Q, possa subire collisioni.

Si, è possibile se, ad esempio, un nodo Z per cui Q è nascosto, e che quindi non riceve il RTS, inizia a trasmettere dopo la trasmissione di Q ma prima di ricevere quella di S, ad esempio inizia proprio mentre S invia il suo CTS. In questo caso, però, il CTS arriverà a Q intatto. Affinchè il CTS arrivi a Q colliso bisogna considerare uno scenario con 4 nodi, diciamo Q, S, Y e Z che trasmettono interferendo reciprocamente.

Q19. In una piconet Bluetooth, la velocità di trasferimento dati effettiva è di 0,8 Mbps. Un nodo secondario S di tale piconet deve trasmettere un frame F di 500 byte. Supponendo che la trasmissione di F inizi al tempo t , che S sia l'unico secondario attivo di quella piconet, e che il tempo di salto sia 0, indicare-giustificando la risposta- quando terminerà la trasmissione di F.

F è lungo $500 \times 8 = 4000$ bit. In uno slot della piconet (senza salto), vengono trasmessi $625 \times 10^6 \times 0,8 \times 10^6 = 500$ bit. Quindi, sono necessari 8 slot dispari in cui S trasmette. Siccome in

Bluetooth questi sono intervallati da 7 slot pari in cui trasmette il nodo primario, in totale saranno necessari 15 slot, la cui durata è $15 \times 625 = 9375$ msec, e quindi la trasmissione terminerà al tempo $t + 9375$ msec. Se invece consideriamo il salto, allora in ogni slot vengono trasmessi $366 \times 10^{-6} \times 0,8 \times 10^6 = 292$ bit (sarebbe 292,8 ma le frazioni di bit non si possono trasmettere!). In questo caso ci vorrebbero $4000/292 = 13,69863$, cioè 14 slot dispari, intervallati da 13 slot pari, quindi 27 in totale, e pertanto la trasmissione finirebbe al tempo $t + 27 \times 625 = t + 16875$ msec.

Q20. Consideriamo una rete wireless IEEE 802.11 che ha un raggio di 400 metri, velocità di trasmissione di 5 Mbps e velocità di propagazione di $2 \cdot 10^8$ m/sec; la durata di DIFS e SIFS è 50 e 10 microsecondi, rispettivamente, mentre le lunghezze di RTS, CTS e ACK sono 20, 14 e 18 byte, rispettivamente. La stazione A vuole inviare un frame F di 800 byte alla stazione B. Indicare – giustificando la risposta – quale è la durata minima in microsecondi a cui verrà posto il NAV dalle stazioni che ricevono il CTS inviato da B senza avere ricevuto il RTS inviato da A.

Le stazioni che ricevono il CTS inviato da B senza avere ricevuto il RTS inviato da A imposteranno il NAV a: $SIFS + d_{\text{trasm}}(F) + d_{\text{prop}} + SIFS + d_{\text{trasm}}(\text{ACK}) + d_{\text{prop}} = (10 + 1280 + 2 + 10 + 28,8 + 2) \mu\text{s} = 1332,8 \mu\text{s}$.

Q21. Quali chiavi e per quali funzioni devono usare il mittente ed il destinatario per utilizzare il protocollo PGP nella sua versione che garantisce la massima sicurezza (relativamente a PGP)?

Per avere il massimo livello di sicurezza che PGP permette, il mittente deve usare la sua chiave privata (per la firma digitale), poi la chiave di sessione condivisa per la riservatezza, chiave di sessione che viene inviata dal mittente crittografata con la chiave pubblica del destinatario, e la chiave di sessione, che viene usata per crittografare il tutto. Il destinatario, a sua volta, usa la sua chiave privata per decrittare la chiave di sessione, poi decrittata il messaggio usando la chiave di sessione, ed infine verifica la firma digitale del mittente usando la chiave pubblica di quest'ultimo.

E1. Una rete locale utilizza come protocollo MAC il protocollo Slotted Aloha p-persistente, con $p=2/3$, e utilizza la tecnica binary exponential backoff in caso di collisioni. Tre host A, B e C trasmettono un frame nello slot X, tutti e tre per la seconda volta. Sapendo che nessun altro host (diverso da A, B e C) trasmette frame negli slot $[X, X+2]$, indicare – giustificando la risposta – quale è la probabilità che A riesca a trasmettere con successo nello slot X+2 senza che si verifichino collisioni nello slot X+1. Per semplicità assumiamo che tutte le collisioni vengano notificate istantaneamente.

Affinché A riesca a trasmettere con successo nello slot X+2 senza che si verifichino collisioni nello slot X+1 deve succedere

che A provi a ritrasmettere per la prima volta (dopo lo slot X) nello slot X+2 e:

♣ B trasmetta nello slot X+1 e C non trasmetta negli slot X+1 e X+2, o viceversa,

oppure che

♣ B e C non trasmettano negli slot X+1 e X+2.

Indichiamo con K_M il numero di slot da attendere scelto da un nodo dopo avere rilevato una collisione nello slot M e indichiamo con R_N il numero scelto dal nodo all'inizio dello slot N per la p-persistenza. Osserviamo che:

- uno dei tre nodi ritrasmette per la prima volta (dopo lo slot X) nello slot X+2 se $(K_X=0 \ \& \ R_{X+1} > 2/3 \ \& \ R_{X+2} \leq 2/3) \parallel (K_X=1 \ \& \ R_{X+2} \leq 2/3)$, e ciò avviene con probabilità $(1/4 \times 1/3 \times 2/3) + (1/4 \times 2/3) = 2/9$;

- uno dei tre nodi ritrasmette per la prima volta (dopo lo slot X) nello slot X+1 se ($K_x=0$ & $R_{x+1} \leq 2/3$), e ciò avviene con probabilità $1/4 \times 2/3 = 1/6$;
 - uno dei tre nodi *non* trasmette negli slot X+1 e X+2 con probabilità $1 - (2/9 + 1/6) = 11/18$.
 La probabilità che A riesca a trasmettere con successo nello slot X+2 senza che si verifichino collisioni nello slot X+1 è quindi: $(2 \times 2/9 \times 1/6 \times 11/18) + (2/9 \times 11/18 \times 11/18) = 44/972 + 242/2916$.

E2. Consideriamo una rete locale che utilizza il protocollo MAC Slotted Aloha 1-persistente, e utilizza la tecnica binary exponential backoff in caso di collisioni. Supponiamo che quattro host di tale rete cerchino di trasmettere un frame durante lo slot S, due di essi per la prima volta e due di essi per la seconda volta. Indicare – giustificando la risposta – quale è la probabilità che i quattro nodi NON riescano tutti a trasmettere con successo entro la fine dello slot S+4.

Osserviamo che affinché *tutti* e quattro i nodi riescano a trasmettere con successo entro la fine dello slot S+4 non deve verificarsi alcuna collisione negli slot [S+1,S+4]. Affinché ciò avvenga, i due nodi che cercano di trasmettere per la prima volta devono scegliere uno di non attendere e uno di attendere 1 slot prima di ritentare la trasmissione. Analogamente, i due nodi che cercano di trasmettere per la seconda volta devono scegliere uno di attendere 2 slot e uno di attendere 3 slot prima di ritentare la trasmissione. Ciò avverrà con probabilità $4/2 \times 2 \times 4 \times 4 = 1/16$ e quindi la probabilità che i quattro nodi NON riescano tutti a trasmettere con successo entro la fine dello slot S+4 è pari a $1 - 1/16 = 15/16$

E3. Supponiamo che solo due nodi (A e B) di una rete Ethernet con topologia a bus debbano trasmettere un frame di 90 byte e che al tempo t, dopo aver verificato che il canale è inattivo, inizino tutti e due a trasmettere simultaneamente il proprio frame: A per la seconda volta e B per la terza volta. Supponendo inoltre che i nodi utilizzino la variante p-persistente del protocollo, con $p=0,8$, che la frequenza di trasmissione sia di 10 Mbps, che la rete sia lunga 250 metri, che la velocità di propagazione sia di 2×10^8 m/sec, che il jamming signal sia di 48 bit, che T_{fr} sia uguale al tempo necessario per trasmettere 512 bit e sia uguale alla lunghezza dello slot di persistenza, indicare – giustificando la risposta – quale è la probabilità che il nodo A riesca a terminare di trasmettere con successo il suo frame all'istante $t + 231,65$ microsecondi, incorrendo in una sola collisione dopo t.

A rileverà la collisione al tempo $t + 1,25 \mu s$ (ritardo di propagazione) e, dopo avere inviato il segnale di jam ($4,8 \mu s$), per terminare di trasmettere con successo il suo frame all'istante $t + 231,65 \mu s$ dovrà quindi attendere un tempo X tale che $1,25 \mu s + 4,8 \mu s + X + 72 \mu s$ (tempo di trasmissione del frame) = $231,65 \mu s$ ovvero $X = 153,6 \mu s$. A dovrà quindi attendere 3 tempi di trasmissione frame/slot di persistenza. Ciò avverrà se A sceglierà:

- $K=0$ e $p > 0,8$ per tre volte e quindi $p \leq 0,8$ oppure
- $K=1$ e $p > 0,8$ per due volte e quindi $p \leq 0,8$ oppure
- $K=2$ e $p > 0,8$ una volta e quindi $p \leq 0,8$ oppure
- $K=3$ e $p \leq 0,8$

e quindi con probabilità $p = (1/4 \times 1/5 \times 1/5 \times 1/5 \times 4/5) + (1/4 \times 1/5 \times 1/5 \times 4/5) + (1/4 \times 1/5 \times 4/5) + (1/4 \times 4/5)$. Affinché non si verifichi una seconda collisione dopo t, B non dovrà trasmettere quando A trasmette. La probabilità che A riesca a terminare di trasmettere con successo il suo frame all'istante $t + 231,65$ microsecondi incorrendo in una sola collisione dopo t è quindi (la variabile p sottostante è quella 4 righe sopra, che inizia con $(1/4 \times 1/5 \times \dots)$, mentre $1 - (\dots)$ è la probabilità che B non trasmetta):

$$p \times \left(1 - \left(\left(\frac{1}{8} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} \times \frac{4}{5} \right) + \left(\frac{1}{8} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} \times \frac{4}{5} \right) + \left(\frac{1}{8} \times \frac{1}{5} \times \frac{4}{5} \right) + \left(\frac{1}{8} \times \frac{4}{5} \right) \right) \right)$$

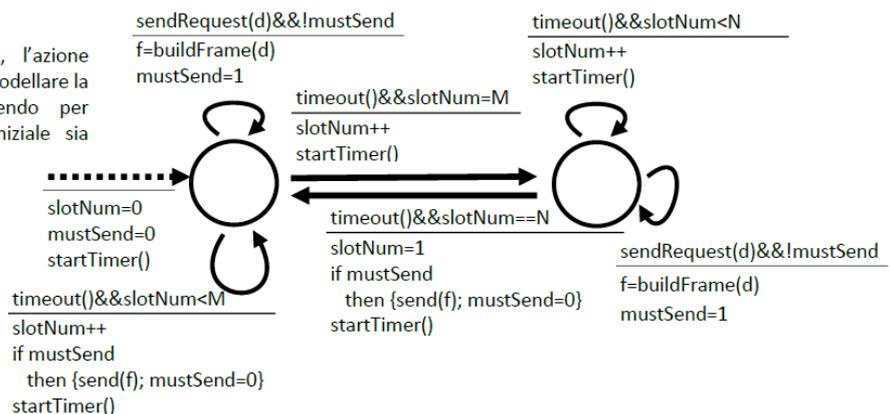
E4. Consideriamo una rete Ethernet con topologia a bus formata da 5 nodi e consideriamo la situazione in cui tutti i nodi della rete inizino a trasmettere per la prima volta un frame al tempo t. Indicare – giustificando la risposta – quale è la probabilità che tutti i nodi riescano a trasmettere con successo nel minor tempo possibile, e quale è in tale caso il numero di jam signal trasmessi.

Affinché tutti i nodi riescano a trasmettere con successo nel minor tempo possibile, dopo la prima collisione solo uno di essi deve rispedire subito mentre gli altri devono attendere, e ciò avviene con probabilità $5/2^5$. Dopo che i rimanenti quattro nodi collidono di nuovo una seconda volta, solo uno di essi deve rispedire subito mentre gli altri tre devono scegliere di attendere ciascuno un tempo diverso dagli altri due, e ciò avviene con probabilità $4!/4^4$. Quindi la probabilità che tutti i nodi riescano a trasmettere con successo nel minor tempo possibile è $5/2^5 \times 4!/4^4 = 15/1024$. In tale caso vengono trasmessi 5 jam signal dopo la prima collisione e 4 dopo la seconda.

E5. Una LAN utilizza un protocollo di tipo Slotted Aloha come protocollo MAC, in cui la banda di comunicazione non è utilizzata tutta per trasmettere dati, ma una parte viene utilizzata per inviare informazioni di controllo. In particolare, la comunicazione è formata da cicli di N slot: i primi M slot di ogni ciclo vengono usati per trasmettere solamente dati, mentre i restanti N-M vengono usati per trasmettere solamente informazioni di controllo. Descrivere – utilizzando un automa a stati finiti – il comportamento di un nodo che adotta tale protocollo, utilizzando l'evento $sendRequest(d)$ per indicare la ricezione di una richiesta dal livello superiore e l'azione $send(f)$ per spedire un frame f. Per semplicità, supporre che il nodo descritto non abbia informazioni di controllo da spedire e non considerare il problema della gestione di eventuali collisioni.

E4.

/* Utilizziamo la variabile slotNum, l'azione startTimer() e l'evento timeout() per modellare la sincronizzazione degli slot (assumendo per semplicità che la sincronizzazione iniziale sia garantita. */



E6. I computer di una rete locale WiFi utilizzano due thread distinti, il thread mittente ed il thread destinatario, per realizzare il protocollo CSMA/CA. Descrivere, con uno pseudocodice, le azioni svolte dal thread **destinatario** del computer IO, limitatamente alla ricezione di un frame da un altro

computer. Nello pseudocodice, si utilizzino (tra le altre) le procedure/funzioni:

- *receive(F)* per ricevere un frame F dalla rete (bloccante);
- *send(F)* per inviare un frame F nella rete;
- *settimer(T)* per settare il timer con il valore T e farlo partire;
- *wait (E)* per aspettare l'evento E;
- *check(F)* che restituisce il valore *true* se e solo se il frame F è corretto.

```
while (true)
{
receive (F); //per ricevere il frame F
if ((F.tipo==RTS)&&(F.destinatario==IO)&&(check(F)) //se è un RTS destinato ad IO ed è corretto,
allora deve eseguire il protocollo,                altrimenti lo ignora
    { settimer (SIFS);
      CTS.destinatario==F.mittente;
      CTS.lunghezza==F.lunghezza; // per permettere a tutti i nodi che ricevono il CTS di
settare il NAV
      wait (timeout);
      send(CTS);
      receive(F);
      if ((check(F))&&(F.destinatario==IO)) // se è il frame atteso ed è corretto (se corrotto
ignora il tutto)
        { settimer (SIFS);
          ACK.destinatario==F.mittente; // prepara l'ACK e lo invia
          wait (timeout);
          send(ACK);
        }
    }
}
```