
Trasmissione e Commutazione

Traffico

Un *Internet Service Provider* ha 1000 utenti, ciascuno dei quali apre 1,5 sessioni *internet* mediamente ogni giorno in modo uniforme nell'arco della giornata. Le sessioni durano in media 45 minuti e durante ogni sessione ogni utente genera pacchetti di 10000 bit alla frequenza media di 30 pacch./minuto su canali di 50 kb/s. Si calcoli:

- A) il n. medio di sessioni attive contemporaneamente
 - B) il n. medio di pacchetti trasmessi contemporaneamente
 - C) Il fattore di burstiness medio a livello di sessione.
-

Soluzione

A) Il numero medio di sessioni attive $E[N]$ è dato dal risultato di Little:

$$E[N] = \lambda E[T] \quad \xrightarrow{\lambda} \quad \boxed{N, T} \quad \longrightarrow$$

dove $\lambda = (1000 \times 1.5) / 24$ [sessioni/ora] è la frequenza di ingresso delle sessioni ed $E[T] = 3/4$ [ora] è la durata media della sessione singola.

Si ha quindi $E[N] = 46.9$

Soluzione

B) La durata della trasmissione di un pacchetto è:

$$T_p = 10000 \text{ [bit]} / 50 \text{ [kb/s]} = 200 \text{ ms}$$

il numero medio di pacchetti per sessione sulla linea è dato ancora dal risultato di Little:

$$E[s] = \lambda_p \times E[T_p] = 0.5 \text{ [pacchetti/s]} \times T_p = 0.1$$

complessivamente si hanno $E[S] = 46.9 \times 0.1 = 4.69$ pacchetti trasmessi contemporaneamente

Soluzione

- C) Le sessioni durano 45 minuti. In media, in una giornata ci sono 1.5 sessioni, quindi un periodo di ON di 45 [minuti] + 22.5 [minuti] = 67.5 [minuti] ed un periodo di OFF di 1372.5 [minuti]
 - Il fattore di bustiness è: $B=67.5/1440 = 4.6\%$
-

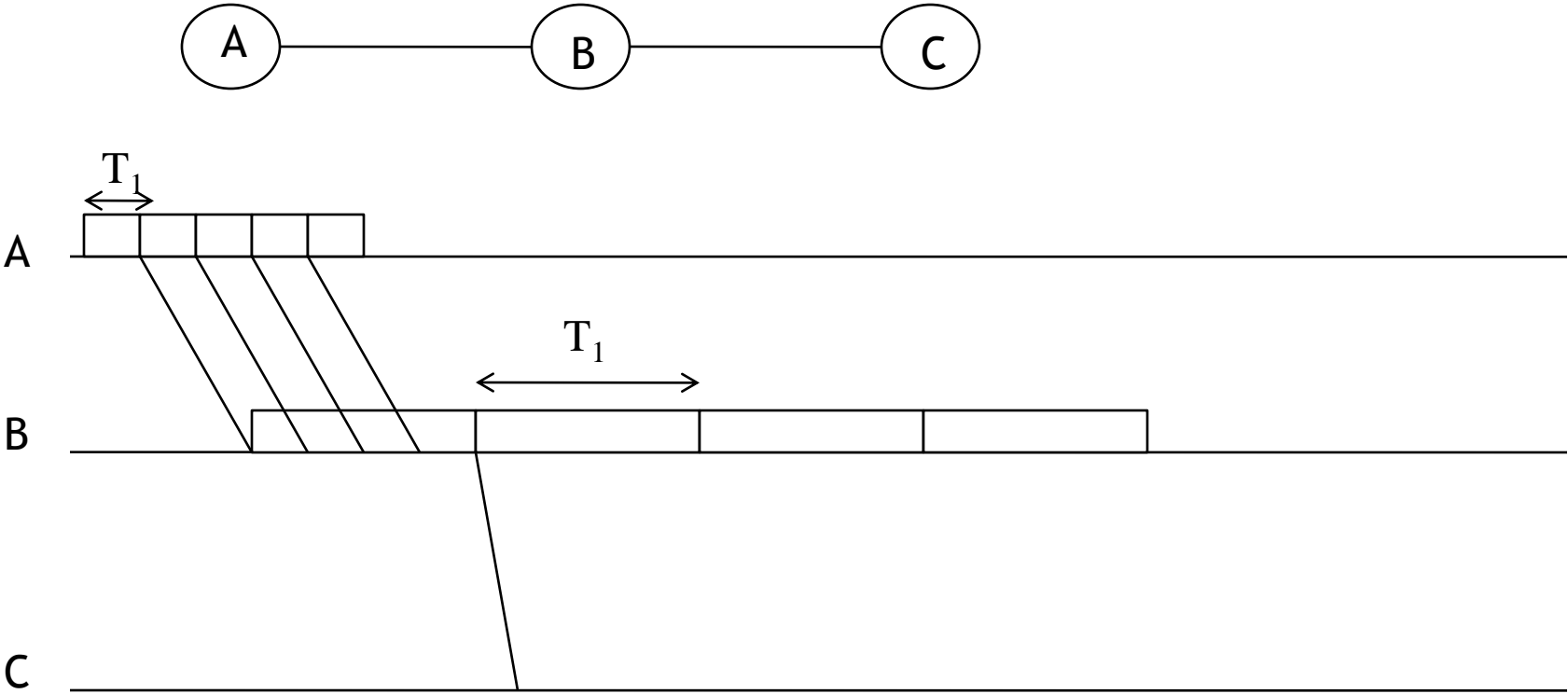
Store & Forward

- Un flusso di 1000 pacchetti composti da 10.000 bit contenenti 1000 bit di header e 9000 bit di payload, viene inviato al tempo $t=0$ su una cascata di 2 collegamenti di velocità 10 Gb/s e 2 Gb/s, e con tempo di propagazione pari a 100 us e 10 us. Si calcoli l'istante di ricezione all'uscita del collegamento dell'ultimo pacchetto del flusso nel caso in cui nel nodo di mezzo:
 - La commutazione sia store and forward senza ritardi aggiuntivi
 - La commutazione sia cut through senza ritardi aggiuntivi
 - La commutazione sia store and forward con tempo di instradamento per ciascun pacchetto pari a 3 us

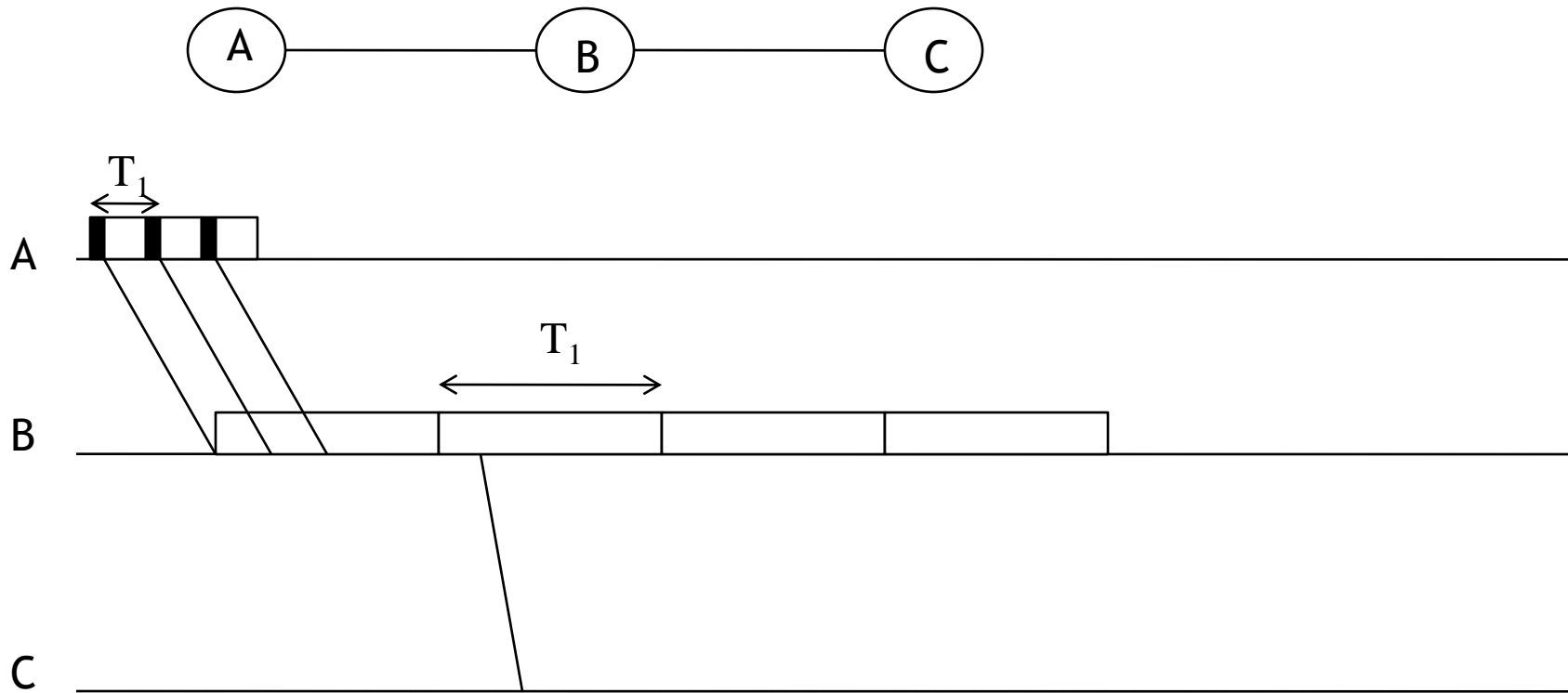
Soluzione-Store & Forward

Il collo di bottiglia è la seconda tratta

$$d = \tau_1 + \tau_2 + T_1 + nT_2 = 100 \text{ [us]} + 10 \text{ [us]} + 1 \text{ [us]} + 1000 \times 5 \text{ [us]} = 5111 \text{ [us]}$$

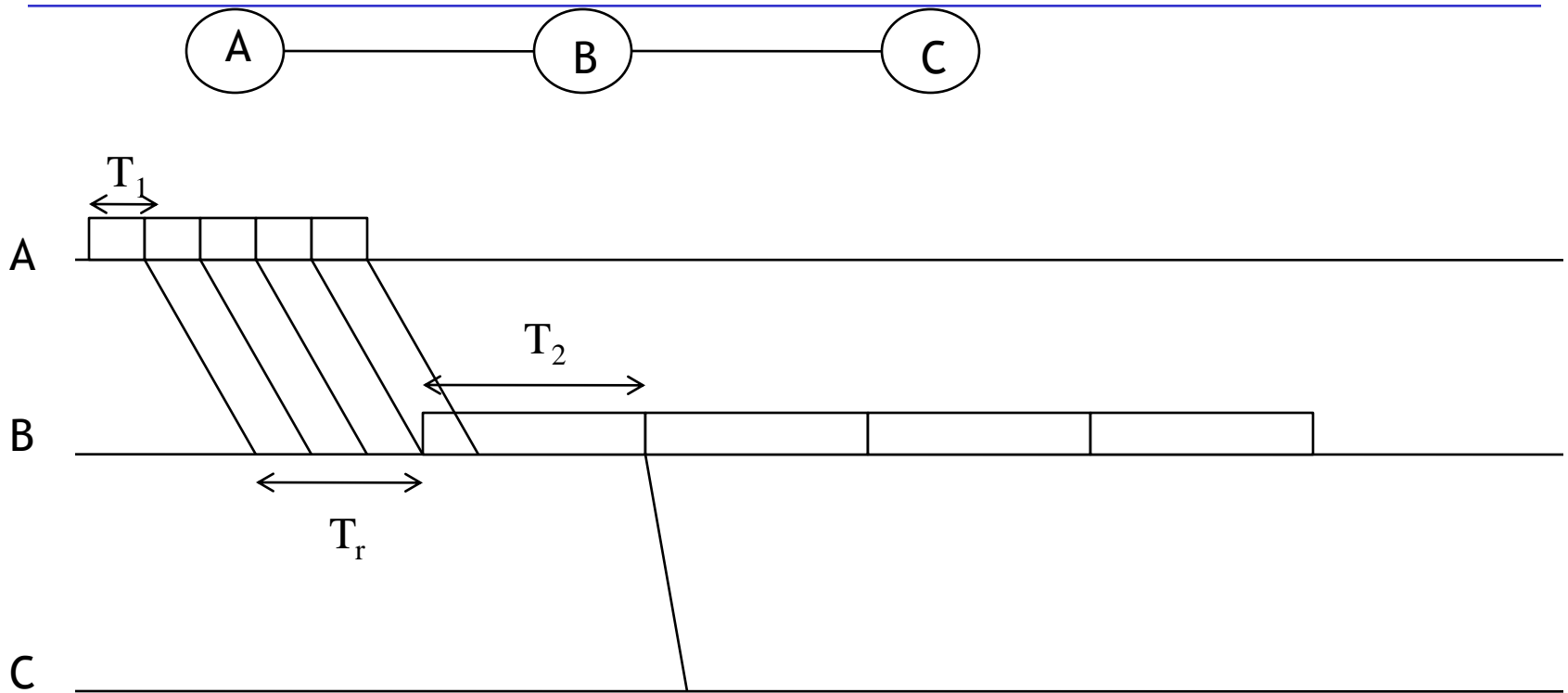


Soluzione-Cut Through



$$d = \tau_1 + \tau_2 + T_{h1} + nT_2 = 100 + 10 + 0,1 + 1000 \times 5 = 5110,1 \text{ micros}$$

Soluzione - Latenza

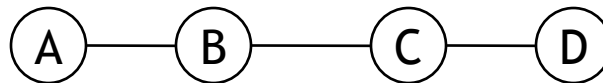


Il router si comporta come una tratta con tempo di trasmissione di 3 micros.
Il collo di bottiglia è ancora l'ultima tratta

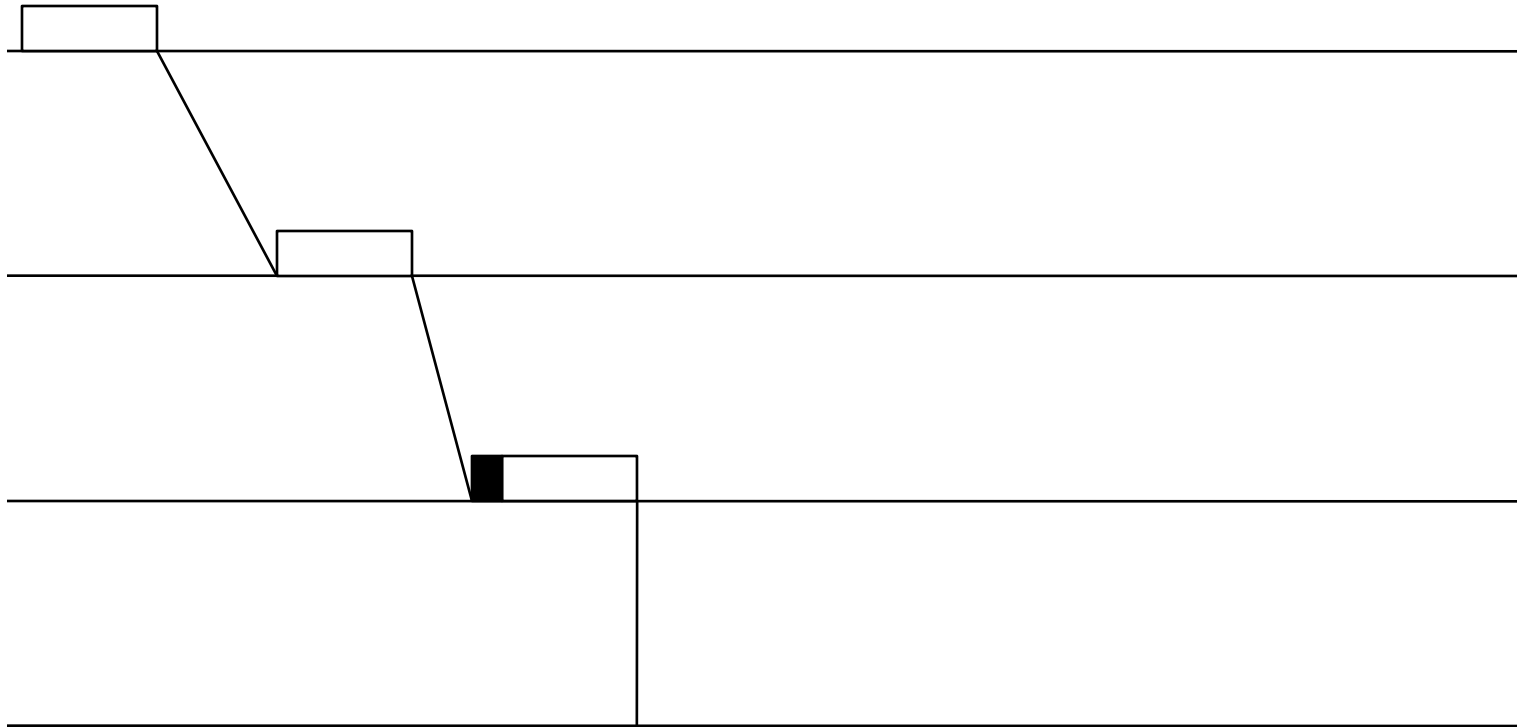
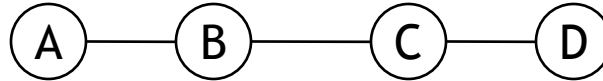
$$d = \tau_1 + \tau_2 + T_1 + T_r + nT_2 = 100 + 10 + 1 + 3 + 1000 \times 5 = 5114 \text{ micros}$$

Esercizio Store & Forward (2.6-Maier)

- A è una sorgente deterministica di tipo VBR ON-OFF con fattore di burstiness $BA = 4/9$ e rate medio $A = (16/9)$ Mbit/s. Il nodo B è connesso ad A mediante un cavo in fibra ottica di lunghezza d_{AB} tale per cui il ritardo di trasmissione τ_{AB} sia pari a T_{ON-A} (tempo di durata del burst emesso da A). B ritrasmette i dati ricevuti da A verso il nodo C (si assumano nulli i ritardi di elaborazione e accodamento). La velocità di trasmissione di B P_B è tale per cui il trasmettitore della linea di uscita di B verso C è sempre attivo. Il nodo C è connesso ad B mediante un cavo in rame di lunghezza d_{CB} tale per cui: $\tau_{CB} = \tau_{AB} / 2$.
- C ritrasmette i burst ricevuti da B verso il nodo D successivo (si assumano nulli i ritardi di elaborazione e accodamento) dopo aver aggiunto ad ogni burst un overhead di $L_0 = 10$ byte. Il tempo di trasmissione del pacchetto in uscita da C è $T_{ON-C} = 80 \mu s$. D è connesso a C tramite un collegamento di lunghezza trascurabile. Il ritardo totale end-to-end A-D (intervallo di tempo tra l'inizio della trasmissione del primo bit di un burst da parte di A e la fine della ricezione dell'ultimo bit del medesimo burst da parte di D) sia $D_{AD} = 0.84$ ms.
 - Calcolare: le velocità di trasmissione P_A, P_B, P_C ; le distanze d_{AB} e d_{BC} .
 - Disegnare i profili di traffico corrispondenti all'uscita di A, all'uscita di B e all'ingresso di D usando i diagrammi sottostanti. Indicare le unità di misura sugli assi. Per semplicità ci si limiti a rappresentare 2 burst consecutivi (e le relative ritrasmissioni da B e ricezioni in D), assumendo $t = 0$ l'istante iniziale del primo burst.



Soluzione



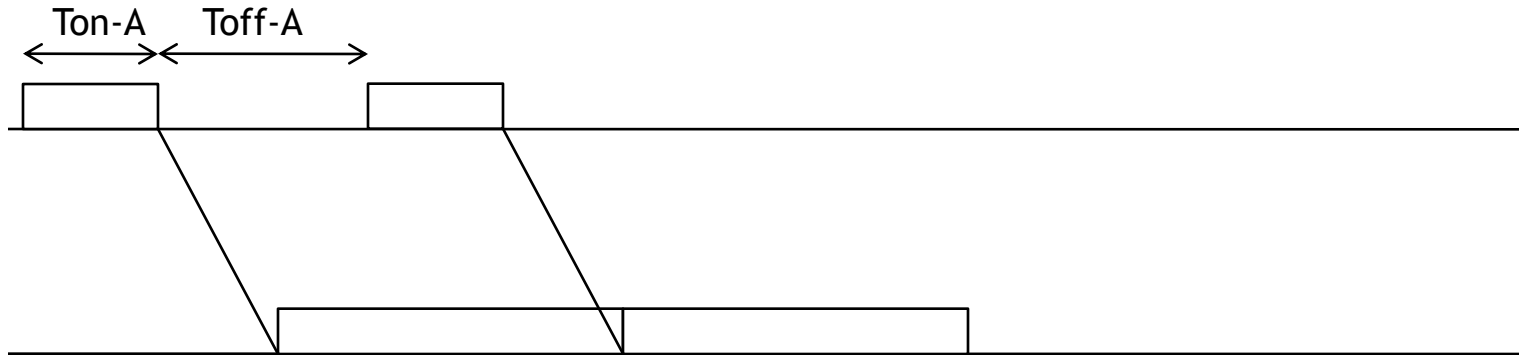
$$D_{AD} = T_{AB} + \tau_{AB} + T_{BC} + \tau_{BC} + T_{CD} + \tau_{CD}$$

$$T_{AB} = \tau_{AB}, \quad \tau_{BC} = \tau_{AB} / 2, \quad \tau_{CD} = 0, \quad T_{CD} = 80[\mu s]$$

Soluzione

$$840[\mu s] = 5/2 T_{AB} + T_{BC} + 80[\mu s]$$

- Per ipotesi, il trasmettitore di B lavora continuamente (burstiness = 1) e non si ha ritardo di accodamento al nodo B, quindi: $T_{BC} = T_{ON-A} + T_{OFF-A} = T_{AB} + T_{OFF-A} = \frac{9}{4} T_{AB}$



$$P_A = A \frac{9}{4} = (16/9)[Mb/s] \frac{9}{4} = 4[Mb/s]$$

$$840[\mu s] = 5/2 \frac{L}{4[Mb/s]} + 9/4 \frac{L}{4[Mb/s]} + 80[\mu s]$$

Soluzione

- Da cui si ottiene: $L = 640[\text{bit}]$
- Si ha, quindi:

$$P_B = \frac{640[\text{bit}]}{T_{BC}} = \frac{640[\text{bit}]}{360[\text{us}]} = 1,7[\text{Mb/s}]$$

- Ed ancora:

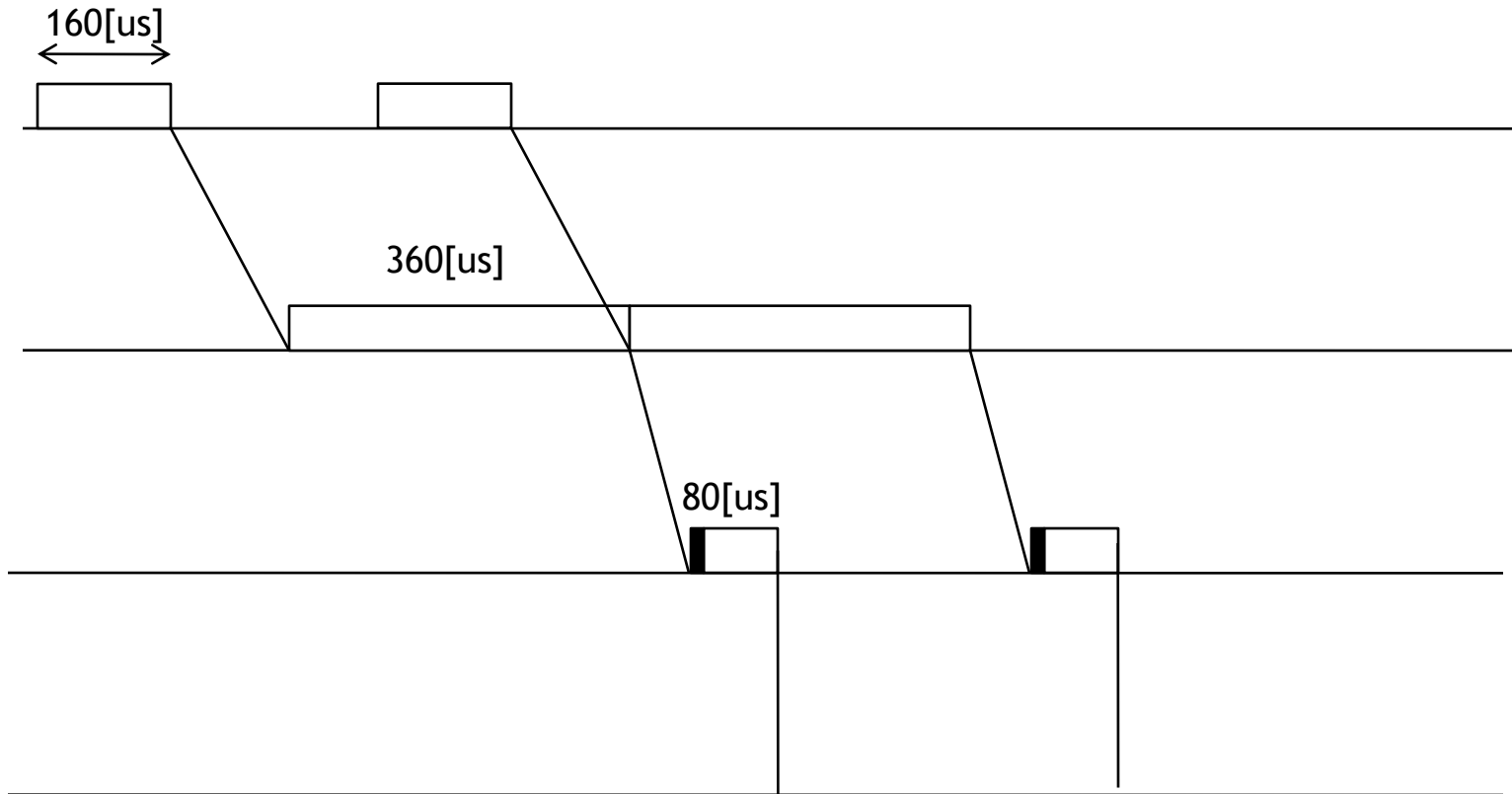
$$P_C = \frac{640[\text{bit}] + 80[\text{bit}]}{T_{CD}} = \frac{720[\text{bit}]}{80[\text{us}]} = 9[\text{Mb/s}]$$

- Ed infine: $\tau_{AB} = T_{ON-A} = T_{AB} = 160[\text{us}]$
 $\tau_{CD} = \tau_{AB} / 2 = 80[\text{us}]$

- quindi: $\tau_{AB} = 5[\text{us/Km}] d_{AB} \rightarrow d_{AB} = 32[\text{Km}]$
 $\tau_{CD} = 5[\text{us/Km}] d_{CD} \rightarrow d_{AB} = 16[\text{Km}]$
-

Soluzione

- Disegnare i profili di traffico corrispondenti all'uscita di A, all'uscita di B e all'ingresso di D usando i diagrammi sottostanti. Per semplicità ci si limiti a rappresentare 2 burst consecutivi (e le relative ritrasmissioni da B e ricezioni in D), assumendo $t = 0$ l'istante iniziale del primo burst.



Esercizio Store & Forward (Maier-2.11)

- Si consideri una sorgente S di tipo ON-OFF deterministica collegata tramite un link wireless ad un nodo commutatore di pacchetti intermedio I . L'interfaccia di uscita del nodo trasmette in fibra ottica all'host di destinazione R , distante $l_I = 20 \text{ km}$. Il *link wireless*, di lunghezza $l_S = 300 \text{ m}$, è caratterizzato da un rate medio $A_S = 40677966 \text{ bit/s}$; la sorgente S è caratterizzata da un fattore di burstiness $B_S = 0.75$ e la pausa tra ogni *burst* e il successivo ha durata $T_{OFF-S} = 59 \mu\text{s}$. L'interfaccia di uscita del nodo I trasmette a velocità $P_I = 155 \text{ Mbit/s}$.
 - Rappresentare l'evoluzione di almeno due burst consecutivi nel diagramma temporale qui sotto.
 - Calcolare il numero massimo di byte di overhead L_{OH-I} che il nodo I può aggiungere a ciascun pacchetto mantenendo ritardo di accodamento nullo.
 - Calcolare il ritardo totale di trasferimento di ciascun burst da S a R .



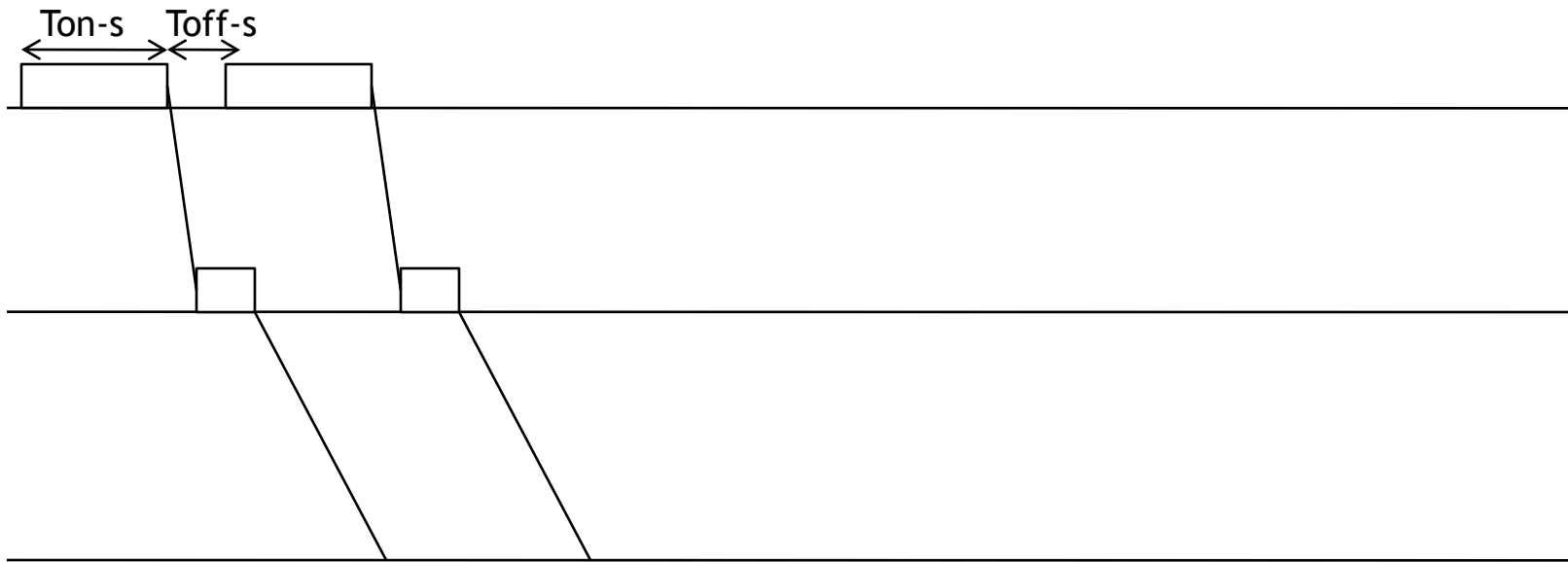
Soluzione

- Consideriamo la sorgente S:
 - $T_{ON-S} = B_s (T_{ON-S} + T_{OFF-S})$
 - $T_{ON-S} = 3 T_{OFF-S} = 177 [us]$
 - $P_s = A_s 4/3 = 54.2 [Mb/s]$
 - $l = 54.2 [Mb/s] \times 177 [us] = 9599 [bit]$
 - Consideriamo il nodo L
 - $T_{LR} = 9599 [bit] / 155 Mbit/s = 61.9 [us]$
 - I ritardi di propagazione saranno:
 - $\tau_{sl} = 3.333 [us/Km] \times 300 [m] = 1 [us]$
 - $\tau_{IR} = 5 [us/Km] \times 20 [Km] = 100 [us]$
 - Il ritardo complessivo di trasferimento di un burst sarà:
 - $T_{ON-S} + T_{LR} + \tau_{sl} + \tau_{IR} = 339.9 [us]$
-

Soluzione

- Affinché non ci sia accodamento in L, deve essere:

- $T_{LR} \leq T_{ON-S} + T_{OFF-S}$



- Quindi

- $(l+H)/P_L \leq T_{ON-S} + T_{OFF-S}$

- $H \leq (T_{ON-S} + T_{OFF-S}) P_L - l = 236 \text{ [us]} \times 155 \text{ [Mb/s]} - 9599 \text{ [bit]} = 26981 \text{ [bit]}$

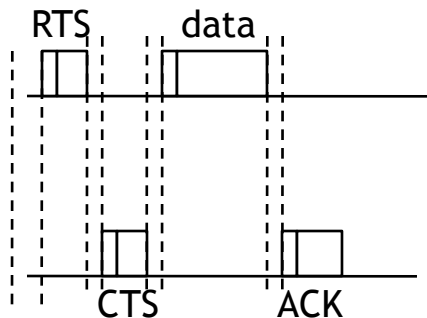
Trasmissione WiFi

- In un sistema di accesso multiplo simile al Wi-Fi a 50 Mb/s si trasmette un pacchetto MAC lungo complessivamente 2.000 byte. Nell'ipotesi che il segnale RTS sia di 20 byte, CTS ed ACK siano lunghi 14 byte, il SIFS duri 10 microsecondi e il DIFS 30 microsecondi. Inoltre la trasmissione di ogni trama MAC, anche quelle di servizio, è preceduta da un preambolo di livello fisico di 144 bit e da un header di livello PLCP di 48 bit, entrambi questi preamboli trasmessi alla velocità di 2 Mb/s. Si calcoli
 - Il tempo di trasmissione della trama MAC DATI + preamboli di livello fisico
 - Il tempo intercorrente fra l'inizio del RTS e la fine della trasmissione dell'ACK
 - La massima velocità di trasmissione (bit/s) di una sorgente di un flusso di pacchetti.

Soluzione

I tempi coinvolti sono i seguenti

- a. Payload MAC= $16000/50= 320$ micros
- b. Payload RTS = $160/50=3,2$ micros
- c. Payload CTS=payload ACK= $112/50=2,24$ micros
- d. Preamboli = $192/2=96$ micros
- e. SIFS=10 micros
- f. DIFS=30 micros



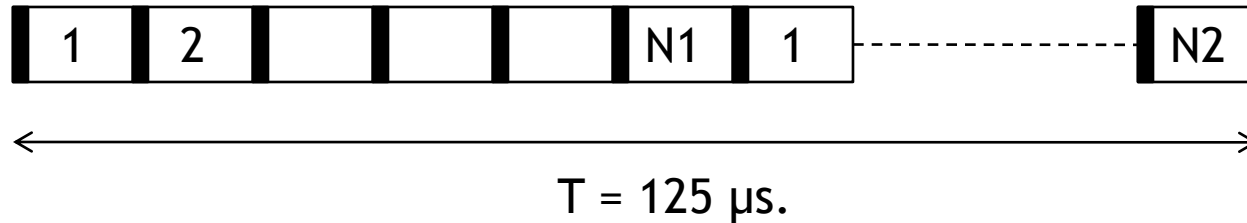
- a. Trama MAC= $a+d = 416$ micros
 - b. $b+d+e+c+d+e+a+d+e+c+d+f ==771,68$ micros
 - c. $16000/771,68=20,73$ Mb/s
-

Multiplazione / Accesso Multiplo

Multiplazione (Maier 3.3)

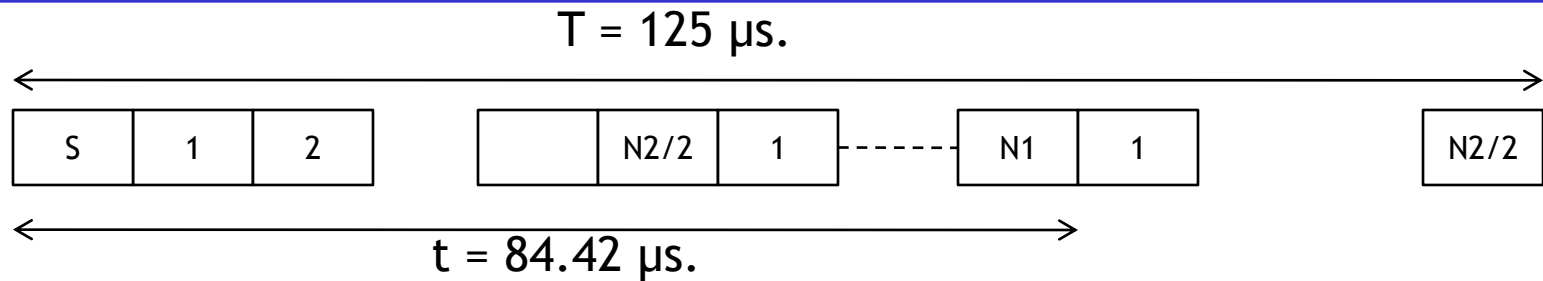
- Un link che trasmette al bit-rate C è collegato mediante un multiplexer di tipo S-TDM a N_1 stazioni-sorgente tributarie di tipo 1 e a N_2 stazioni-sorgente tributarie di tipo 2. Le frequenze medie $F_1 = 512$ kbit/s e F_2 delle stazioni di tipo, rispettivamente, 1 e 2 sono legate dalla relazione: $F_2 = 3 \cdot F_1$. Ad ogni stazione i vengono assegnati S_i slot della trama in modo da preservarne la frequenza media. Tutti gli slot sono uguali e contengono B bit di dati. In particolare, per le stazioni di tipo 1: $S_i = S_1 = 1$. Per l'overhead di trama è necessario prevedere in ogni trama un numero di bit aggiuntivi $h = 5$ bit per ciascun slot della trama, per un totale di $H = 150$ bit. La trama dura $T = 125$ μ s.
 - Dopo aver disegnato uno schema della trama, calcolare B e C .
 - L'assegnazione degli slot avviene nel seguente modo: i primi H bit sono riservati alla segnalazione; un primo blocco di slot viene assegnato a $(N_2 / 2)$ stazioni-sorgente di tipo 2; un secondo blocco di slot viene assegnato alle N_1 stazioni di tipo 1; i rimanenti slot sono assegnati alle restanti stazioni di tipo 2. Sapendo che l'ultimo slot assegnato alle stazioni di tipo 1 termina dopo $t_1 = 84.42$ μ s dall'inizio della trama, calcolare N_1 e N_2 .
-

Soluzione



- La singola stazione di tipo 1 genera $512[\text{kb/s}] \times 125 [\mu\text{s}] = 64 [\text{bit}]$ per trama. Alla singola stazione di tipo 1 è assegnato uno slot nella trama, alla singola stazione di tipo 2 sono assegnati 3 slot per trama
 - Il numero di slot complessivo sarà: $N1+3N2$, quindi la velocità del multiplex sarà:
 - $C = (64 [\text{bit}] + 5 [\text{bit}]) (N1+3N2) / T$
 - Il numero totale di slot è: $150/5$ (sapendo che ho 5 bit di segnalazione per slot e 150 bit di segnalazione in totale)
 - Quindi:
 - $C=16.56 [\text{Mb/s}]$
-

Soluzione



- In un tempo pari a t , alla velocità C , genero:
 - $16.56 \text{ [Mb/s]} \times 84.42 \text{ [\mu s]} = 1398 \text{ [bit]}$
- Quindi
 - $t = 1/C (H + B N_1 + B 3N_2/2)$
 - $T = 1/C (H + B N_1 + B 3/2 (30 - N_1)/3)$
 - $1398 \text{ [bit]} = 150 \text{ [bit]} + 64 N_1 \text{ [bit]} + 32 (30 - N_1) \text{ [bit]}$
 - $1398 \text{ [bit]} = 150 \text{ [bit]} + 64 N_1 \text{ [bit]} + 960 \text{ [bit]} - 32 N_1$
 - $N_1 = (1398 - 150 - 960)/32 = 9$
- E
 - $N_2 = (30 - 9)/3 = 7$

Accesso Multiplo

Un sistema analogo al GSM utilizza un TDM-TDMA con 20 slot temporali con una trama della durata di 10 ms. La voce di un utente, codificata a 16 kb/s, viene sempre trasmessa in uno stesso slot. Nell'ipotesi che i tempi di guardia valgano 0.1 ms,

- a. si dica di quanti bit deve essere composto il burst di uno slot e la velocità a cui deve essere trasmesso il burst
 - b. si ripeta il conto nel caso in cui la voce di un utente viene trasmessa in uno stesso slot ma solo per 15 trame sulle 16 di una multitrama, mentre nella 16-esima trama lo slot viene usato per trasmettere segnalazione sullo stato del canale. Qual è la velocità di questo canale di segnalazione?
-

Soluzione

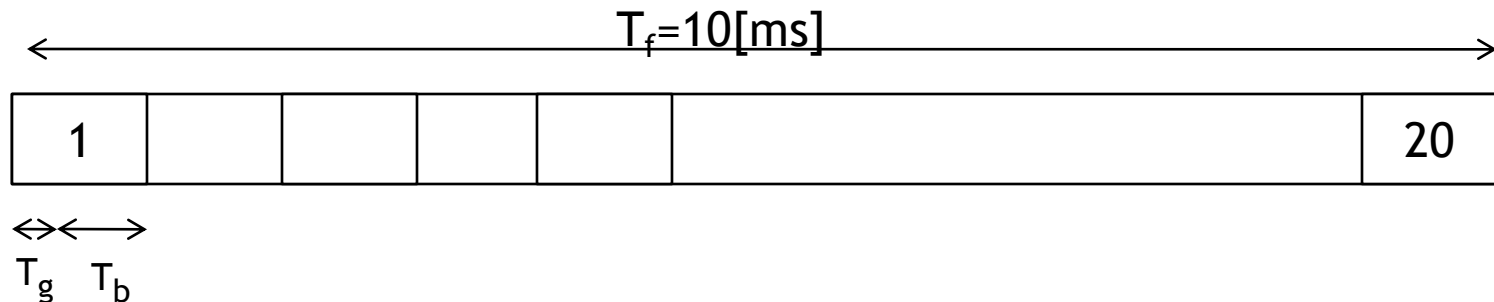
a. I bit del burst sono quelli che arrivano in un tempo di trama.

$$B = 16 \times 10 = 160$$

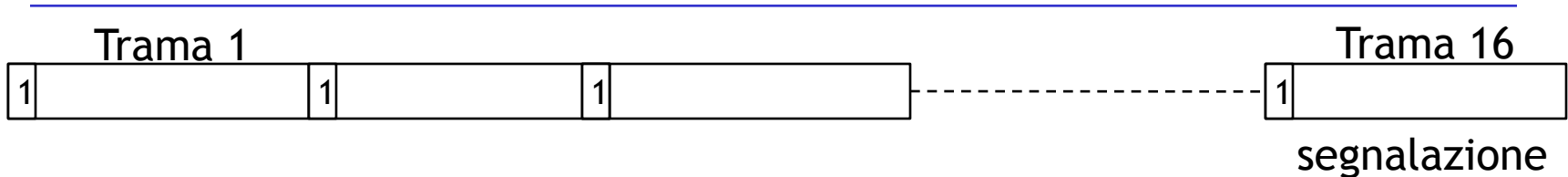
Il tempo di burst sarà: $T_b = T_f - NT_g = 10[ms] - 20 \times 0.1[ms] = 0.4[ms]$

La velocità del flusso multiplex è

$$V = \frac{\text{bit burst}}{\text{durata burst}} = \frac{B}{T} = \frac{160}{0.4 \text{ ms}} = 400 \text{ kb/s}$$



Soluzione



b) Poiché le trame non sono uguali occorre ragionare sulla multitrama da 16 trame. I bit che arrivano in una multitrama sono

$$M = 16 \times 10 \times 16 = 2560$$

e vanno trasmessi in 15 trame. Dunque i bit del burst sono $2560/15=170,67$

La velocità del flusso multiplex è

$$V = \frac{\text{bit burst}}{\text{durata burst}} = \frac{B}{T} = \frac{170,67}{0,4 \text{ ms}} = 426,67 \text{ kb/s}$$

La velocità del canale di segnalazione è

$$v = \frac{\text{bit burst}}{\text{periodo di multitrama}} = \frac{B}{T_M} = \frac{170,67}{160 \text{ ms}} = 1.067 \text{ kb/s}$$

ARQ e HDLC

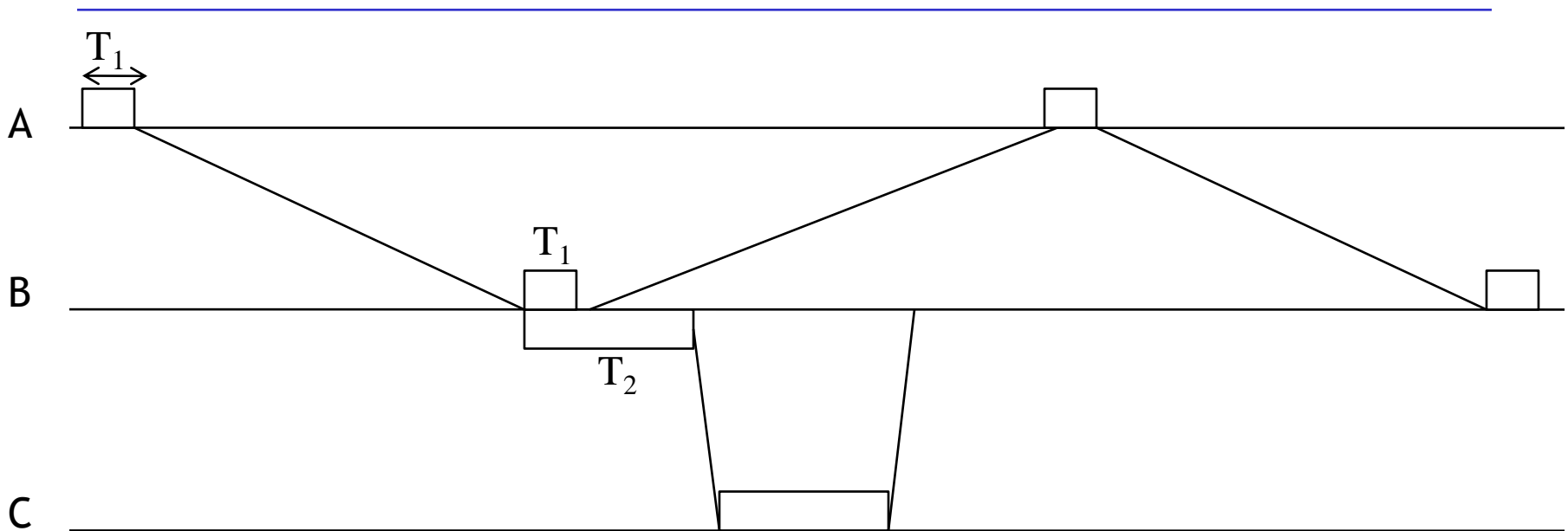
ARQ

Un flusso di 1000 pacchetti composti da 10.000 bit contenenti 1000 bit di header e 9000 bit di payload, viene inviato al tempo $t=0$ su una cascata di 2 collegamenti di velocità 10 Gb/s e 2 Gb/s, e con tempo di propagazione pari a 100 us e 10 us. Si calcolino gli istanti di ricezione dell'ultimo pacchetto del flusso nel nodo intermedio e in quello finale nel caso in cui :

- a. Su ciascuno dei due collegamenti ci sia un ARQ di tipo stop & wait a minimo time out con immediato ritorno dell'ACK
- b. L' ARQ di tipo stop & wait a minimo time out sia di tipo end-to-end
- c. Su ciascuno dei due collegamenti ci sia un ARQ di tipo GO BACK N a minima finestra e si sbagliano i pacchetti numero 1,2,1000 sulla sola prima tratta.

Si assuma che gli ACK tornino su pacchetti della stessa lunghezza.

Soluzione



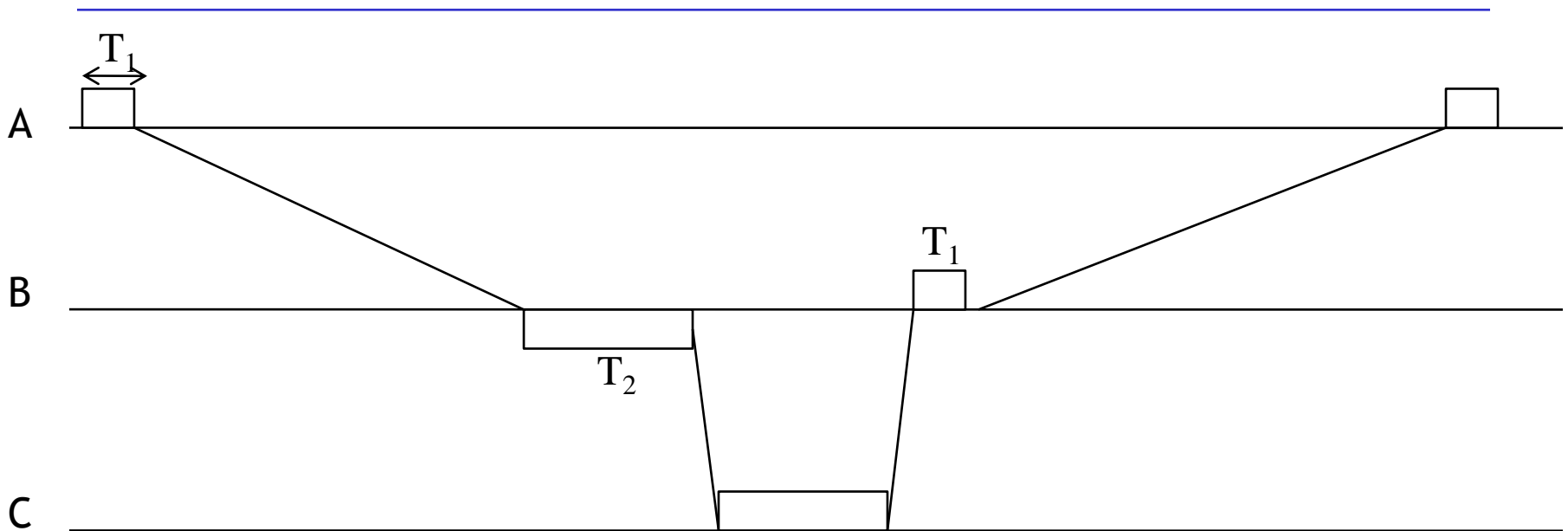
- Il collo di bottiglia è la prima tratta
- Nel nodo intermedio il primo pacchetto arriva dopo $t_1 + T_1$ e l'ultimo dopo:

$$D_1 = \tau_1 + T_1 + 2(N - 1)(\tau_1 + T_1) = 201899 \text{ micros}$$

- Essendo il collo di bottiglia sulla la prima tratta l'ultimo pacchetto arriva alla fine del collegamento al tempo

$$D_2 = D_1 + (\tau_2 + T_2) = 201914 \text{ micros}$$

Soluzione



- L'ultimo pacchetto arriva al nodo intermedio dopo:

$$D_1 = 2(N-1)(\tau_1 + T_1 + \tau_2 + T_2) + \tau_1 + T_1 = 231869 \text{ micros}$$

- L'ultimo pacchetto arriva al nodo finale:

$$D_2 = \tau_1 + T_1 + \tau_2 + T_2 + 2(N-1)(\tau_1 + T_1 + \tau_2 + T) = 231884 \text{ micros}$$

Soluzione

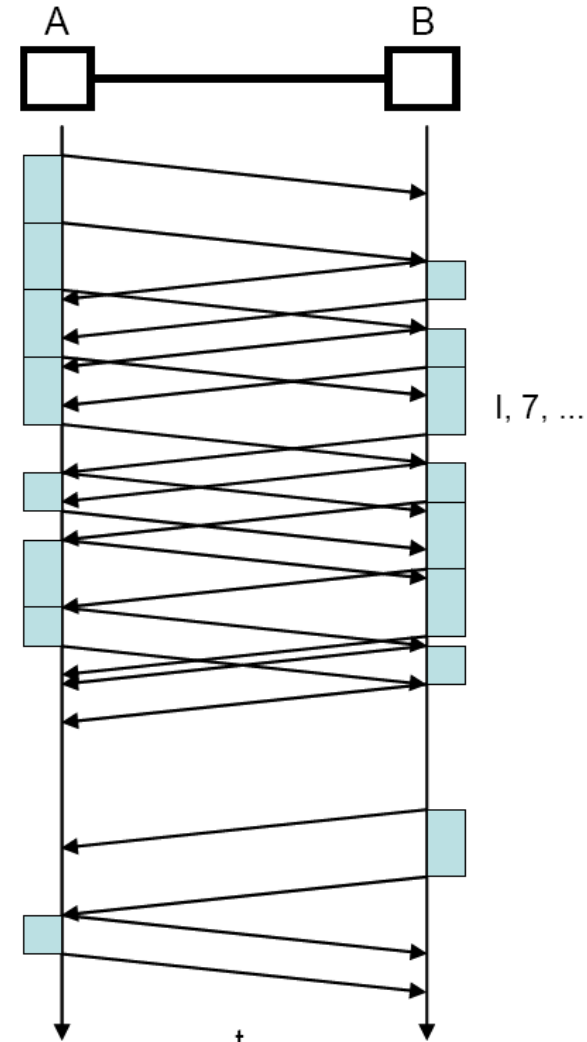
- Le finestre minime Go-Back-N per i due link sono:
 - Link 1: $W > 202$
 - Link 2: $W > 3$
- Poiché la finestra è lunga 202 pacchetti questi sono i pacchetti trasmessi in più quando si sbaglia il pacchetto 1. Siccome il pacchetto 2 la prima volta è ricevuto fuori sequenza, esso è ignorato dal ricevitore ed è trasmesso correttamente nella finestra di ritrasmissione del primo pacchetto. Dunque il primo pacchetto arriva al nodo intermedio 202 micros dopo che nel caso dell'esercizio 1. L'ultimo pacchetto corretto arriva dopo una finestra intera dopo l'ultimo arrivato errato, ossia al tempo

$$101 + 202 + 1000 \times 1 + 202 = 1505 \text{ micros}$$

La trasmissione sulla seconda tratta non è interrotta dall'ultimo errore perché si sono accumulati molti pacchetti ed è ancora il collo di bottiglia. Dunque il tempo eguaglia quello dell'esercizio 1a aggiungendo il ritardo (una finestra di 202 micros) dovuto al primo errore: ~~$5111 + 202 = 5313$ micros~~

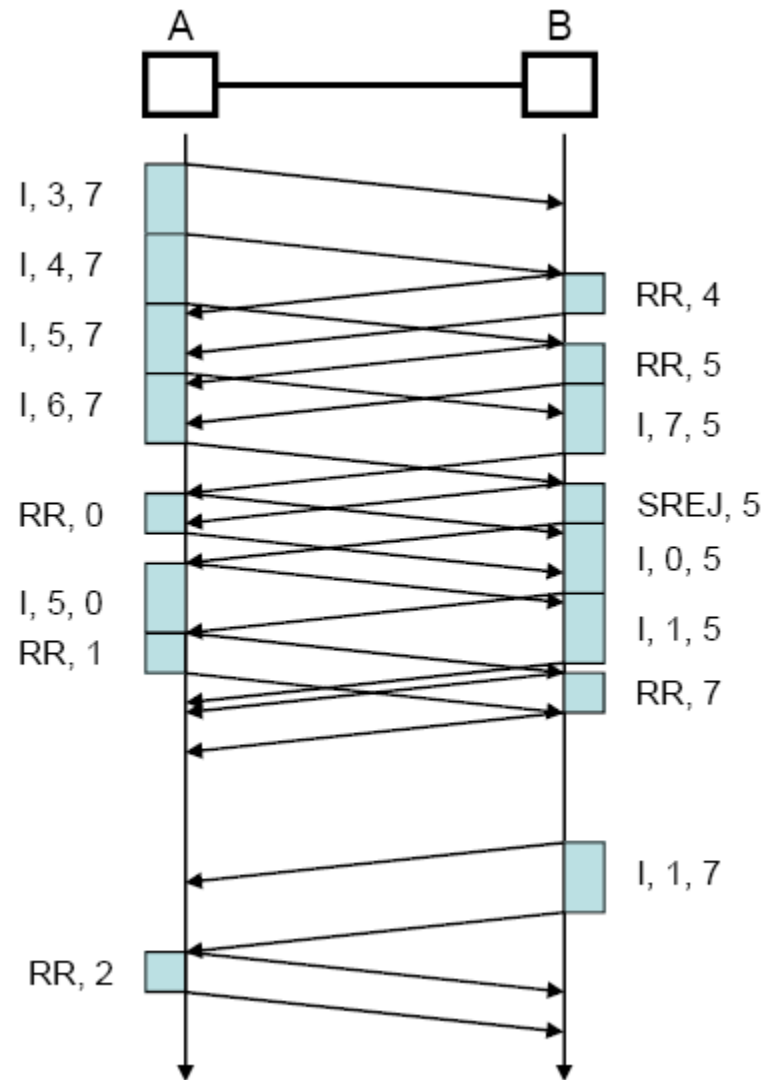
HDLC (Maier 4.23)

- Due stazioni A e B sono collegate da un sistema di trasmissione dati bidirezionale. Il protocollo di livello 2, che controlla la trasmissione delle trame su questo collegamento, sia di tipo HDLC selective repeat. Nella figura seguente è rappresentato lo scambio di trame tra due stazioni A e B con queste caratteristiche:
 - le due stazioni A e B funzionano regolarmente e il collegamento dati è già stato instaurato;
 - nessun errore si è verificato fino alla trasmissione delle trame mostrate in figura;
 - le trame informative hanno lunghezza costante. La stazione A deve trasmettere a B in totale 4 trame informative, mentre la stazione B deve trasmettere ad A in totale 3 trame informative;
 - le trame supervisive hanno lunghezza costante e inferiore a quella delle trame informative;
 - il mezzo trasmissivo è soggetto ad errore che può colpire trame in entrambe le direzioni dalla stazione A alla stazione B e viceversa;
 - la finestra in trasmissione abbia la massima apertura possibile in base alle caratteristiche del protocollo ARQ;
 - il tempo di elaborazione di trama si considera nullo.
- Assumendo una numerazione a 3 bit, scrivere accanto ad ogni trama della figura il tipo di trama HDLC, seguito dalla numerazione relativa a quel tipo di trama (per esempio la sequenza I,1,2 indica una trama informativa con $N(S)=1$ e $N(R)=2$); nel caso di trama supervisiva indicare il tipo di trama inviato



Soluzione

- A invia di seguito le sue 4 trame I
- La 3 e la 4 sono ricevute correttamente da e riscontrate
- La 5 da A va persa e B emette il SREJ appena ha ricevuto la 6
- Intanto poco prima B ha inviato la sua prima I (la 7) che viene riscontrata da A con RR, 0 (notare la numerazione ciclica)
- Quando A riceve il SREJ ritrasmette la 5 e riceve da B un cumulative ACK mediante RR, 7
- Intanto B ha trasmesso le sue altre due trame I di cui la prima viene riscontrata, mentre la seconda no
- Trascorso un presumibile timeout, B ritrasmette la 1, che questa volta viene riscontrata da A



ARQ (Maier 4.15)

- Un aereo da turismo si trova ad una distanza $d = 150$ km dal centro di controllo del traffico aereo, e vola in direzione del centro stesso. Il transponder del velivolo trasmette i dati di identificazione periodicamente utilizzando un protocollo di tipo HDLC. I dati vengono trasmessi come trame informative di formato standard di lunghezza $L_f = 16$ byte (i riscontri siano di lunghezza trascurabile), con numerazione a 3 bit e alla velocità $C = 768$ kbit/s. La finestra di trasmissione ha ampiezza (WS e WG per SR e GBN, rispettivamente) che è la massima compatibile con il protocollo ARQ scelto e con la numerazione delle trame. Il BER è costante e pari a $p = 10^{-4}$. Il sistema di trasmissione sceglie automaticamente se operare in modalità Go-Back-n (GBN) o Selective-Repeat (SR) al fine di massimizzare l'efficienza del protocollo. Alla distanza d la modalità attiva è GBN.
 - Calcolare la distanza e a cui il sistema passa in modalità SR e il valore dell'efficienza η' a tale distanza.
 - Calcolare il valore di efficienza η_{\max} massima raggiungibile e la distanza f per cui si raggiunge tale valore.
-

Soluzione

- Probabilità di errore sulla trama: $P = 1 - (1 - p)^L = 1 - (1 - 10^{-4})^L = 0.0127$
 - HDLC standard numerazione a $b = 3$ bit \Rightarrow numerazione modulo $N = 2^b = 8 \Rightarrow$
 - $W_S + w_s = W_G + w_g = N = 8$

 - GBN
 - $w_G = 1 \Rightarrow \max \{W_G\} = 7 = W_G$
 - se $W_G \geq 1 + 2a \Rightarrow a \leq (W_G - 1)/2 = 3$: $\eta_G = (1 - P) / (1 + P + 2aP)$
 - (la finestra di trasmissione “non strozza”: efficienza limitata solo dal BER e da a)
 - se $a > 3$: $\eta_G = [W_G \cdot (1 - P)] / \{(1 + 2a)[1 + (W_G - 1) P]\}$
 - (la finestra di trasmissione “strozza”: efficienza limitata anche da W_G)

 - SR
 - $w_s = W_s \Rightarrow \max \{W_s\} = 8 / 2 = 4 = W_s$
 - se $a \leq 1.5$: $\eta_s = 1 - P$
 - (la finestra di trasmissione “non strozza”: efficienza limitata solo dal BER)
 - se $a > 1.5$: $\eta_s = [W_s \cdot (1 - P)] / (1 + 2a)$
 - (la finestra di trasmissione “strozza”: efficienza limitata anche da W_s e da a)
-

Soluzione

- Tempo trasmissione trama $T = L / C = (16 \cdot 8 / 768) \text{ ms} = 166.666 \mu\text{s}$
 - A distanza $d = 150 \text{ km}$: $\tau = d / c = (150 / 300) \text{ ms} = 500 \mu\text{s} \Rightarrow a = \tau / T \cong 3$
 - Dunque per tutte le distanze di interesse nell'esercizio, $a \leq 3$ (l'aereo è inizialmente in d e si avvicina al ATC) WG non strozza e l'efficienza del GBN è data da
 - $\eta_G = (1 - P) / (1 + P + 2aP)$
 - Poichè a distanza d è tale per cui $a > 1.5$, W_S strozza e l'efficienza del SR è data da:
 - $\eta_S = [W_S \cdot (1 - P)] / (1 + 2a)$
 - Il sistema sceglie correttamente GBN in quanto
 - $\eta_G(d) = (1 - P) / (1 + P + 6P) = 0.907 > \eta_S(d) = [4 \cdot (1 - P)] / (1 + 6) = 0.658$
 - η_{\max} si raggiunge con SR quando WS non strozza più, ossia se
 - $a \leq 1.5 \Rightarrow \tau \leq (1.5 \cdot 166.666) \mu\text{s} \cong 250 \mu\text{s}$,
 - ossia per distanze inferiori o uguali a $f = (0.25 \cdot 300) \text{ km} = 75 \text{ km}$.
 - $\eta_{\max} = \eta_S = 1 - P = 0.9873$
-

Soluzione

- Tra d ed f vi è un certo valore di distanza e ad disotto del quale SR è più efficiente di GBN (mentre per distanze comprese tra e e d GBN è più efficiente). Sia b il ritardo di propagazione normalizzato corrispondente a e :
 - $e \mid \eta_s(b) = \eta_G(b)$
 - $(1 - P) / (1 + P + 2bP) = [W_s \cdot (1 - P)] / (1 + 2b)$
 - $1 / (1 + P + 2bP) = W_s / (1 + 2b)$
 - $1 + 2b = W_s + W_s P + 2b W_s P$
 - $2b = W_s (1 + P) - 1$
 - $b = [W_s (1 + P) - 1] / [2 (1 - W_s P)]$
 - Sostituendo i valori numerici:
 - $b = 3.0508 / 1.8984 = 1.607$
 - $\tau \leq (1.607 \cdot 167) \mu s \cong 268 \mu s \Rightarrow$
 - $e = (0.268 \cdot 300) \text{ km} = 80.4 \text{ km}$
 - Alla distanza di transizione e l'efficienza è:
 - $\eta = \eta_s(b) [4 (1-P)] / (1+2b) = 3.949 / 4.214 = 0.937$
-

ARQ (Maier 4.22)

- Due stazioni terrestri A e B sono collegate tramite una rete di trasmissione dati in fibra ottica che è così caratterizzata:
 - distanza tra A e B $d=4000$ km,
 - velocità di propagazione del segnale $v=5 \mu\text{s}/\text{km}$,
 - capacità del collegamento $C= 160$ Mbit/s.
 - Il protocollo di livello 2, che controlla la trasmissione delle trame su questo collegamento, sia di tipo HDLC così caratterizzato:
 - dimensione fissa delle trame S: $L_a=80$ byte,
 - dimensione variabile delle trame I, che dipende della dimensione del pacchetto trasportato, fino ad una lunghezza massima di trama $L_{fmax}=125080$ byte dei quali 80 byte rappresentano l'overhead di trama
 - tempo di elaborazione di una trama, sia informativa sia supervisiva, trascurabile
 - Si consideri il trasferimento da A a B di un segmento di dati di lunghezza 1205000 byte, imponendo che le trame utilizzate abbiano lunghezza massima ad eccezione eventualmente dell'ultima. Se il protocollo è di tipo *stop-and-wait*, si calcoli in assenza di errori sul collegamento:
 - il tempo di trasferimento $T_{S\&W}$ del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima trama I al termine della ricezione dell'ultimo ACK);
 - il throughput dati effettivo della connessione $THR_{S\&W}$, misurato in [bit/s], e quanto questo vale in percentuale rispetto al massimo throughput raggiungibile in teoria (efficienza $\eta_{S\&W}$).
-

Soluzione

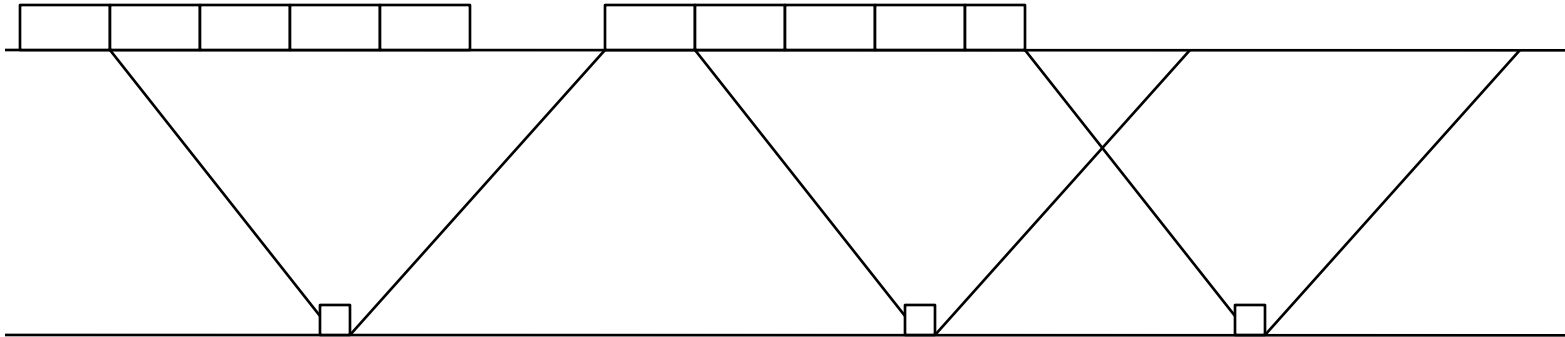


- Il numero di trame da trasferire è:
 - $\text{inf}(1205000 / 125000) = 9$ trame di dimensione massima
 - 1 trama di 80000 [byte]
 - I vari tempi di coinvolti sono
 - $T = 125080 \times 8 \text{ [bit]} / 160 \text{ [Mb/s]} = 6.254 \text{ [ms]}$
 - $T_{last} = (80000 + 80) \times 8 \text{ [bit]} / 160 \text{ [Mb/s]} = 4.004 \text{ [ms]}$
 - $T_{ack} = 80 \times 8 / 160 \text{ [Mb/s]} = 4 \text{ [us]}$
 - $\tau = 400 \text{ [Km]} \times 5 \text{ [us/Km]} = 20 \text{ [ms]}$
 - Il ritardo di trasferimento complessivo è:
 - $T_{tot} = 9 (T + 2 \tau + T_{ack}) + T_{last} + 2 \tau + T_{ack} = 460.33 \text{ [ms]}$
 - Il throughput effettivo sarà: $125000 \text{ [byte]} / (T + T_{ack} + 2\tau) = 20.941 \text{ Mbit/s}$
-

ARQ (Maier 4.22)

- Si consideri ora il protocollo di tipo *go-back-n* che opera con *riscontri positivi ACK* e negativi *NACK*, con dimensione della finestra di trasmissione $W_s=5$ trame, *finestra di ricezione*, W_r e *numerazione trame a 3 bit*, timeout $T_o=60$ ms. Si calcoli, *sempre in assenza di errori sul collegamento*, i seguenti parametri:
 - La dimensione della finestra di ricezione
 - il tempo di trasferimento T_{GBN} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima trama l al termine della ricezione dell'ultimo ACK);
 - il *throughput dati effettivo* THR_{GBN} della connessione, misurato in [bit/s], e di quanto aumenta in percentuale l'efficienza η del collegamento con il protocollo *go-back-n* rispetto al protocollo *stop-and-wait* del caso precedente;
 - la dimensione ottima della finestra di trasmissione W_{s-ott} che massimizza il *throughput* di questo collegamento.
-

Soluzione

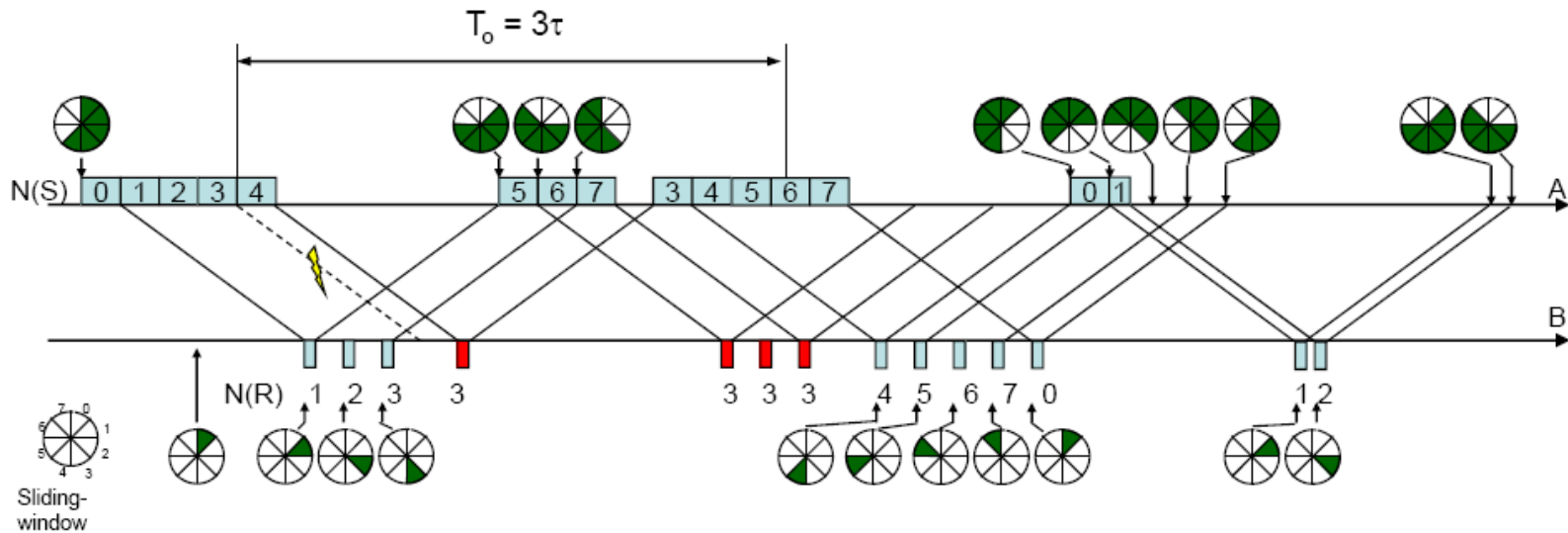


- La finestra di ricezione del Go-Back-N è di 1
 - $5T < (T + 2\tau + T_{ack})$ quindi la trasmissione non è continua sul link
 - Il tempo di trasferimento sarà:
 - $T_{tot} = 2(T + 2\tau + T_{ack}) + 3T + T_{last} = 115.282$ [ms]
 - Il throughput sarà:
 - $THR = (1205000 \cdot 8 / 115.282)$ kbit/s = 83.621 Mbit/s
 - La dimensione ottima della finestra di trasmissione è di 7 posizioni
-

ARQ (Maier 4.22)

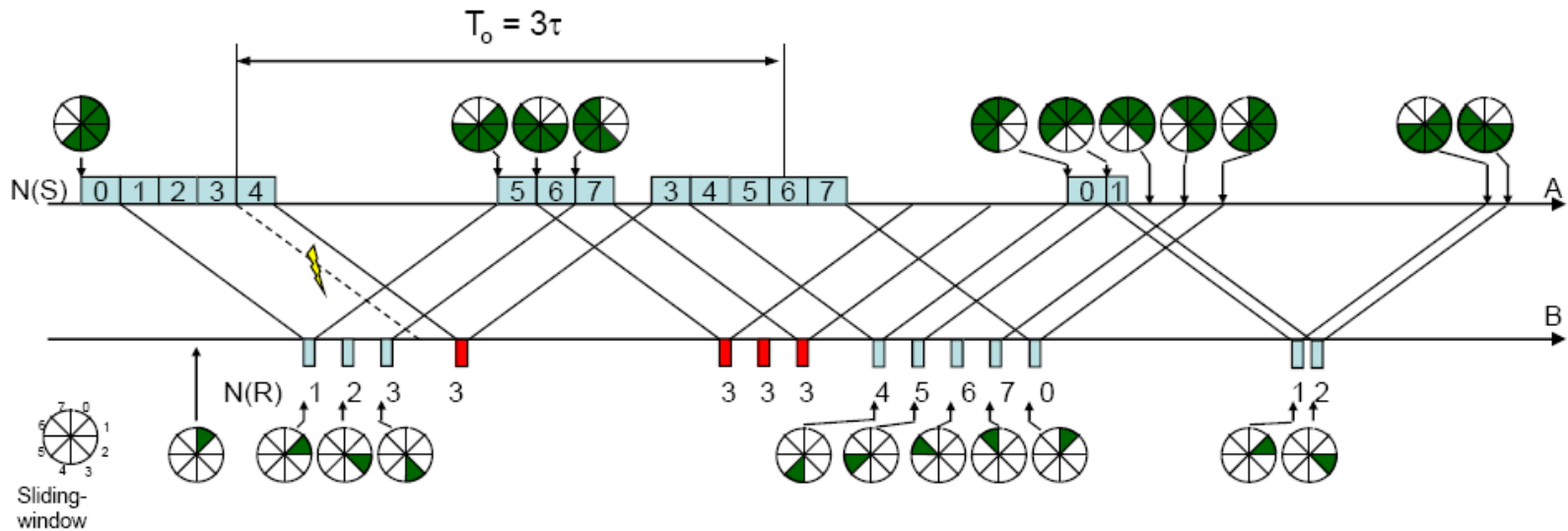
- Sempre con protocollo di tipo go-back-n, ma nel caso il canale sia soggetto a errori, si calcoli
 - il tempo di trasferimento T'_{GBN} del segmento di dati (dall'inizio della trasmissione della prima trama I al termine della ricezione dell'ultimo ACK), nel caso la quarta trama trasmessa da A vada persa e non venga ricevuta da B ;
 - il numero totale N_{trame} di trame dati trasmesse, comprese quelle trasmesse due volte.
-

Soluzione



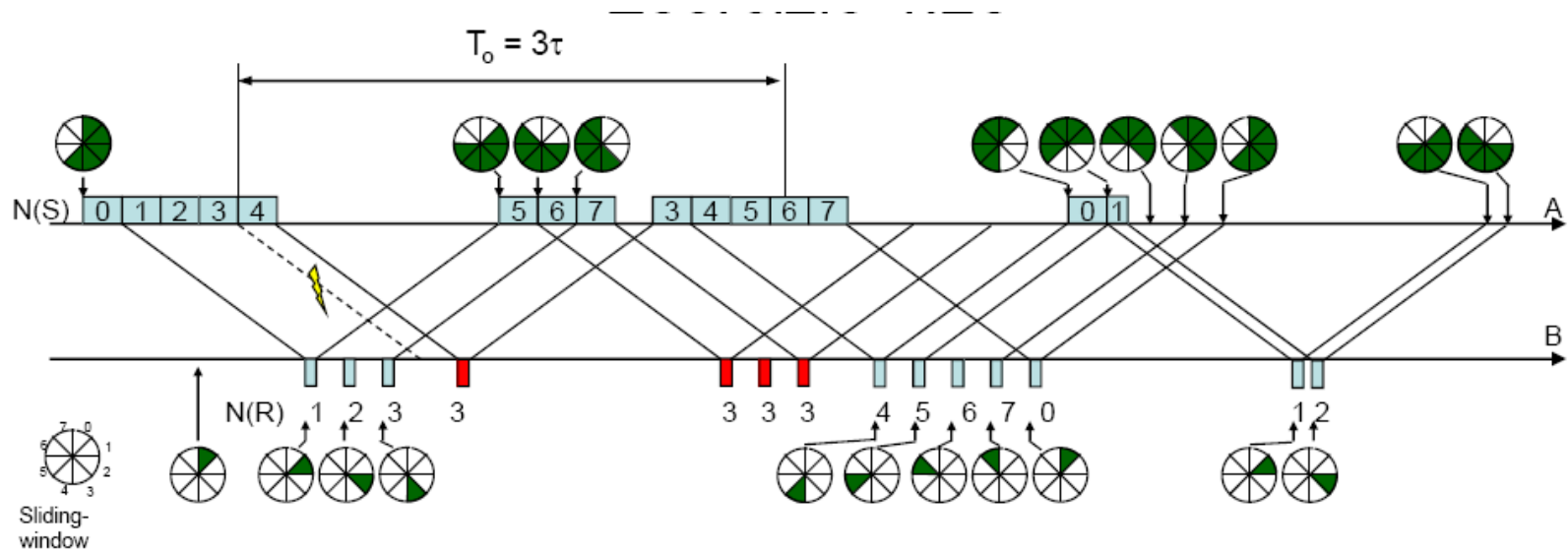
- La trama quarta trama ($N(S) = 3$) trasmessa da A va perduta
- B si può accorgere dell'errore di trasmissione solo quando riceve la trama successiva $N(S) = 4$. A questo punto B la scarta ed invia il NACK relativo a $N(S) = 3$
- Per effetto della finestra di trasmissione, A si blocca dopo la $N(S) = 4$. Riprende appena riceve gli ACK di 0, 1 e 2 e trasmette la 5, 6 e 7. Finalmente A riceve il NACK di 3 (prima che scada il timeout) e inizia la
- ritrasmissione di tutte le trame dalla 3 in poi, fino alla 7, in quanto la finestra resta bloccata dalla 3 alla 7.

Soluzione



- Intanto B scarta la 5 6 e 7 e le riscontra rispondendo sempre col NACK relativo alla 3
- B inizia a ricevere dalla 3 alla 7 senza errori ed invia i riscontri
- Appena A riceve l'ACK relativo alla 4 può ruotare la finestra e trasmettere la 0. Di seguito trasmette la 1 (corta)
- La trasmissione si conclude regolarmente con la ricezione da parte di A di tutti i dati e ACK 0 1

Soluzione



$$T'_{GB} = 5 T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + T_{fmax} + \tau + T_a + \tau + T_{fmax} + T_{flast} + \tau + T_a + \tau$$

$$\tau = 7 T_{fmax} + 6 \tau + 3 T_a + T_{flast} = 167.794$$

$$N_{trame} = 15$$

Accesso Multiplo nelle LAN

Aloha (Maier 5.15)

- Si consideri una rete basata su un protocollo ad accesso casuale di tipo ALOHA. Il processo di arrivo dei pacchetti (di durata T) nelle varie stazioni è schematizzabile come un processo di Poisson.
 - Si supponga che il traffico offerto medio (contando anche le ritrasmissioni) sia $1.649 = \sqrt{e}$ volte il traffico medio smaltito. Calcolare il throughput della rete.
-

Soluzione

- Per il protocollo ALOHA valgono le seguenti relazioni:
 - $S = G e^{-2G}$
 - da cui: $G / S = e^{2G}$
 - Sapendo che $G / S = 1.649$, si può calcolare
 - $G = 1/4$
 - $S = 1.649/4 = 0.125$
 - Cosa rappresenta e^{-2G} ?
-

ALoha

- Si consideri il protocollo ALOHA puro e il modello con traffico sul canale di Poisson
 - Sia nota la probabilità di successo pari a 0.1
 - si calcoli:
 - il traffico sul canale G
 - il throughput S
-

Soluzione

- La probabilità di successo è data da:

$$P_s = e^{-2G}$$

- e quindi:

$$e^{-2G} = 0.1$$

$$-2G = \log(0.1)$$

$$G = -\frac{1}{2} \log(0.1) = 0.805$$

- il throughput S :

$$S = Ge^{-2G} = 0.161$$

CSMA (Maier 5.3)

- Si deve progettare una rete di sensori disseminati sul fondale marino. I sensori comunicano tra di loro trasmettendo segnali digitali mediante sonar su portante ultrasonica a 30 kHz ad un ritmo $R = 800$ bit/s. Sono inoltre distribuiti entro un'area circolare di diametro $d = 700$ m.
 - Sapendo che la velocità di propagazione delle onde acustiche alla frequenza della portante è $v = 1400$ m/s, dimensionare le trame in modo che si possa utilizzare CSMA/CD come protocollo di accesso al mezzo condiviso.
 - Modificare opportunamente il dimensionamento delle trame per il caso in cui l'area entro cui sono disseminati i sensori ha un diametro doppio di d .
-

Soluzione

- La condizione di funzionamento corretto del CSMA/CD è:
 - $T \geq 2\tau$
 - Sapendo che:
 - $T=L/R$
 - Si ha:
 - $L \geq 2\tau R$
 - $L \geq 2 d v R = 2 (700[m]/1400 [m/s]) 800 [bit/s] = 800 [bit]$
-

Ethernet

- Due stazioni sulla rete Ethernet collidono entrambe per la k -esima volta.
 - Qual è la probabilità che collidano ancora?
 - Calcolare la probabilità p_j che, se partono insieme, si abbia successo al j -esimo tentativo? ($j = 1$ è lo slot di collisione iniziale)
-

Soluzione

Al k-esimo tentativo le due stazioni scelgono lo slot d'accesso in una finestra di 2^k slot

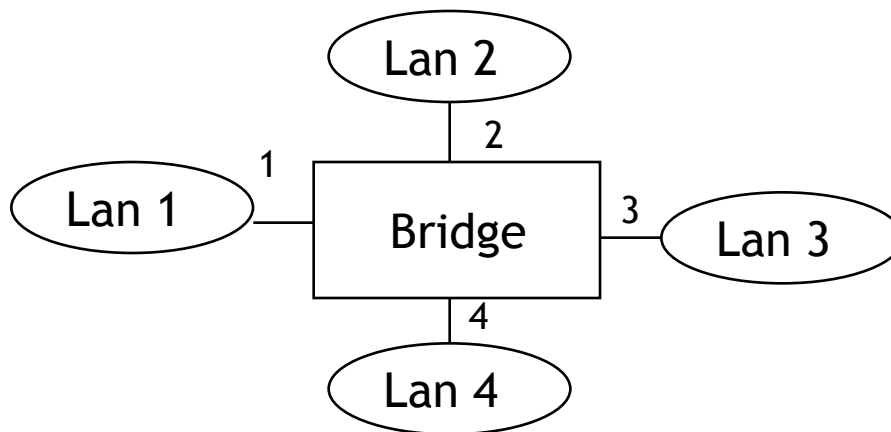
La probabilità di collisione è la probabilità che la stazione 2 scelga lo stesso slot scelto dalla stazione 1, cioè $p=1/2^k$

si deve avere collisione al primo, al secondo ecc... fino al (j-1)-esimo. Al j-esimo si ha successo.

$$p_j = \left(\prod_{n=1}^{j-1} \frac{1}{2^n} \right) \left(1 - \frac{1}{2^j} \right)$$

LAN

- Un *bridge* connette 4 segmenti di LAN attraverso le porte 1, 2, 3 e 4. Inizialmente tutti i data base sono vuoti. Un terminale sulla *Lan 1* invia 2 trame destinate ad un terminale sulla *Lan 2* e questi risponde al primo inviando 3 trame. Nuovamente il primo terminale risponde al secondo con un'ulteriore trama. Si dica come il bridge instrada tutte le 6 trame MAC.

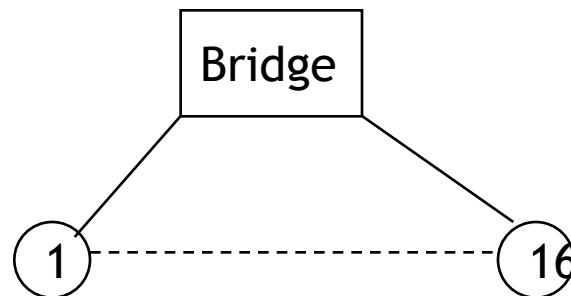


Soluzione

Numero Trama	Mittente	Destinatario	Stato <i>Bridge</i> prima	Stato <i>Bridge</i> dopo	Porta Inoltro
1	T1 Lan1	T2 Lan2	Void	T1 in 1	2, 3, 4
2	T1 Lan1	T2 Lan2	T1 in 1	T1 in 1	2, 3, 4
3	T2 Lan2	T1 Lan1	T1 in 1	T2 in 2, T1 in 1	1
4	T2 Lan2	T1 Lan1	T2 in 2, T1 in 1	T2 in 2, T1 in 1	1
5	T2 Lan2	T1 Lan1	T2 in 2, T1 in 1	T2 in 2, T1 in 1	1
6	T1 Lan1	T2 Lan2	T2 in 2, T1 in 1	T2 in 2, T1 in 1	2
			T1 in 1	T1 in 1	

LAN

- I 16 utenti di una LAN *Ethernet* a 10 Mb/s sono collegati con topologia a stella ad un unico bridge in modalità completamente *switched* e *full-duplex*. Se il traffico generato da ciascuno di essi si ripartisce in ugual misura verso tutti gli altri e la velocità del bridge non costituisce un collo di bottiglia, si calcoli il massimo traffico, in Mb/s, che ciascun utente può generare.

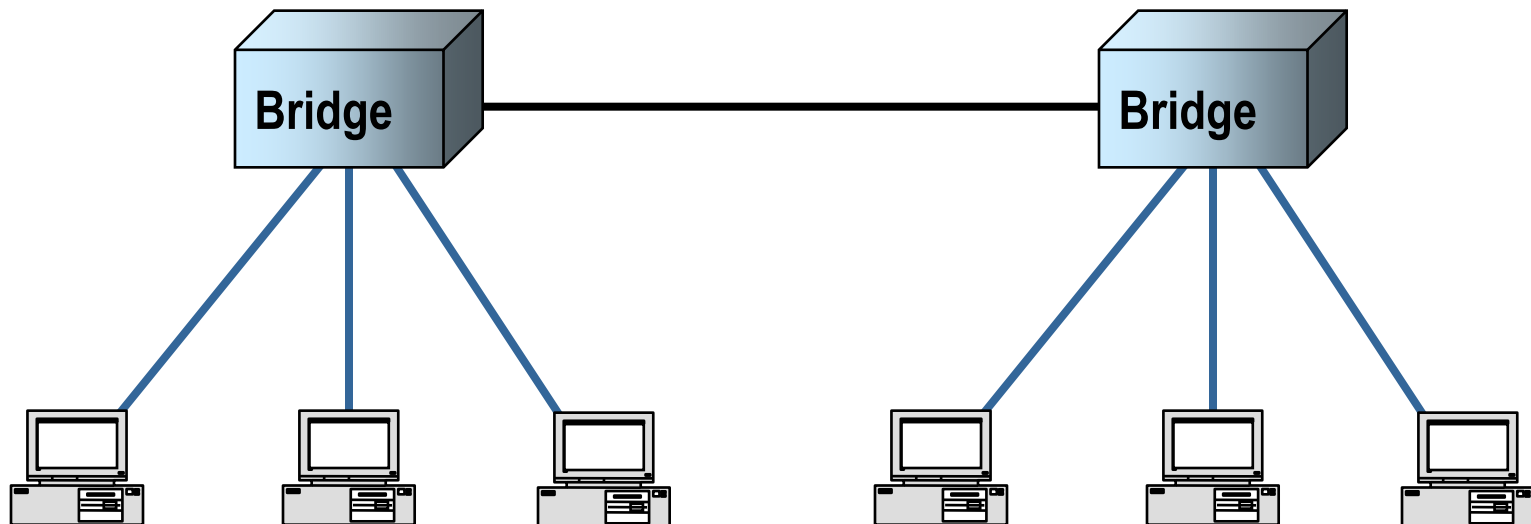


Soluzione

- In modalità *switched* e *full-duplex* ogni stazione può inviare al massimo 10 Mb/s e ricevere 10 Mb/s.
 - Pertanto ogni stazione genera verso ognuna delle altre 15 stazioni un traffico X che deve rispettare il vincolo:
$$15 X \leq 10 \text{ Mbit/s}$$
 - Inoltre ogni stazione riceve un traffico:
$$15 X \leq 10 \text{ Mbit/s}$$
 - Pertanto ogni stazione invia verso ogni altra stazione un traffico pari a 666 kb/s, pari a un totale di 10 Mbit/s
-

LAN

- Si rifaccia il conto nel caso in cui gli utenti siano suddivisi in due gruppi di 8 utenti, ciascuno collegato ad un proprio bridge e i due bridge siano collegati in modalità full duplex da un canale a 10 Mb/s, oppure a 100 Mb/s.



Soluzione

- Ogni stazione invia un traffico X_1 verso le 7 stazioni sullo stesso bridge e X_2 verso le 8 sull'altro. Come nel caso precedente:

$$X_1 \leq 666 \text{ kbit/s}$$

$$X_2 \leq 666 \text{ kbit/s}$$

- Sul collegamento tra i bridge transitano in ogni direzione:

$$8 \cdot 8 \cdot X_2 \leq 10 \text{ Mbit/s}$$

- Da cui si ottiene $X_2 \cong 156 \text{ kbit/s}$.
- Pertanto il traffico generato da ogni stazione è:

$$7 X_1 + 8 X_2 = 5,91 \text{ Mbit/s} \quad (\text{eq.2})$$

- Se la velocità del collegamento è 100 Mbit/s la (eq. 2) non limita e ricadiamo nel caso precedente.
-

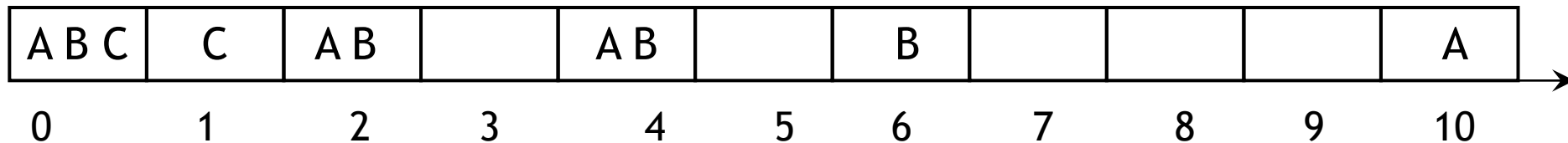
Aloha

- Si consideri il protocollo d'accesso slotted-ALOHA
 - dopo ogni collisione la ritrasmissione segue le seguenti regole:
 - prima di ritrasmettere si attende un numero di slot pari al resto della divisione tra l'indirizzo MAC della stazione e $2k$, dove k è il numero di collisioni consecutive sperimentato dalla stazione
 - si considerino 3 stazioni:
 - A con indirizzo 21
 - B con indirizzo 17
 - C con indirizzo 8
 - tutte e tre le stazioni trasmettono un nuovo pacchetto collidendo
 - indicare in quale slot riescono a trasmettere con successo le stazioni A, B e C.
-

Soluzione

- A con indirizzo 21
- B con indirizzo 17
- C con indirizzo 8

	resto divisione per			
	2	4	8	16
21	1	1	5	5
17	1	1	1	1
8	0	0	0	8



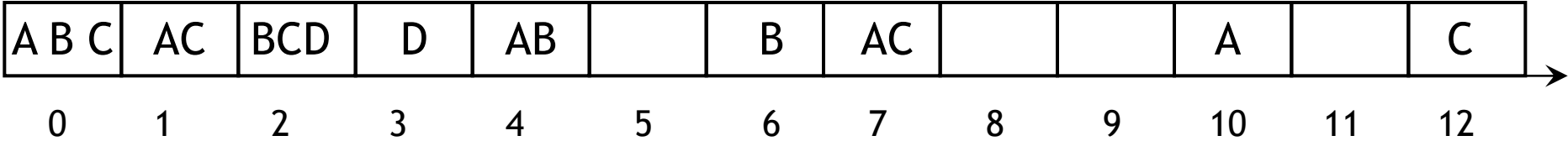
Aloha

- come per il precedente esercizio ma con 4 stazioni:
 - A con indirizzo 18
 - B con indirizzo 17
 - C con indirizzo 20
 - D con indirizzo 4
 - le stazioni A, B e C trasmettono un nuovo pacchetto nello slot 0, mentre la stazione D trasmette un nuovo pacchetto nello slot 2
-

Soluzione

- A con indirizzo 18
- B con indirizzo 17
- C con indirizzo 20
- D con indirizzo 4

	resto divisione per			
	2	4	8	16
18	0	2	2	2
17	1	1	1	1
20	0	0	4	4
4	0	0	4	4



Accesso Casuale

- Si consideri una rete locale a bus
 - nell'ipotesi che:
 - il bus sia lungo 5 km
 - la velocità di trasmissione sia pari a 100 Mbit/s
 - la lunghezza dei pacchetti sia pari a 100 byte
 - si dica, motivando la risposta, quale protocollo di accesso casuale è più conveniente
-

Soluzione

- tempo di propagazione $\tau=25 \mu\text{s}$
 - tempo di trasmissione $T=(8*100)/100=8 \mu\text{s}$
 - il tempo di trasmissione è minore del tempo di propagazione, quindi non conviene usare CSMA o CSMA-CD, ma ALOHA nella versione slotted se vi è la possibilità di avere sincronismo o nella versione pura
-

CSMA

- Si consideri un sistema CSMA-CD con distanza massima tra le stazioni pari a 500 m
 - si calcoli la lunghezza minima del pacchetto affinché il rapporto $a=\tau/T$ sia pari a 0,1 nel caso di
 - canale a 10 Mbit/s
 - canale a 100 Mbit/s
 - motivare la necessità di imporre un vincolo sul valore massimo di a
-

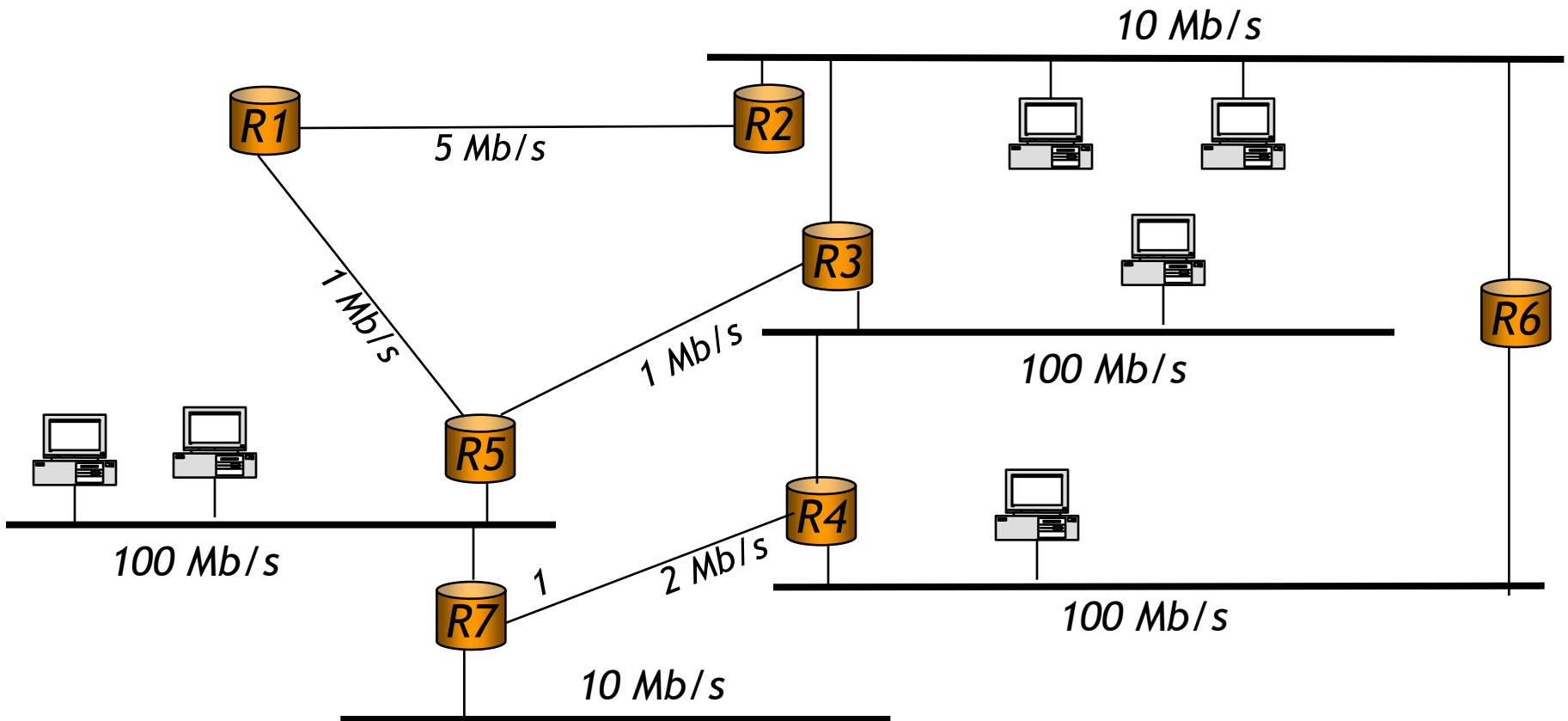
Soluzione

- si ha: $\tau = 2.5 \mu\text{s}$
 - e quindi $T = 25 \mu\text{s}$
 - nel caso di 10 Mbit/s
 - $L/10 = 25$; $L = 250$ bit
 - nel caso di 100 Mbit/s
 - $L/100 = 25$; $L = 2500$ bit
-

Routing

Routing

- Si consideri la rete in figura

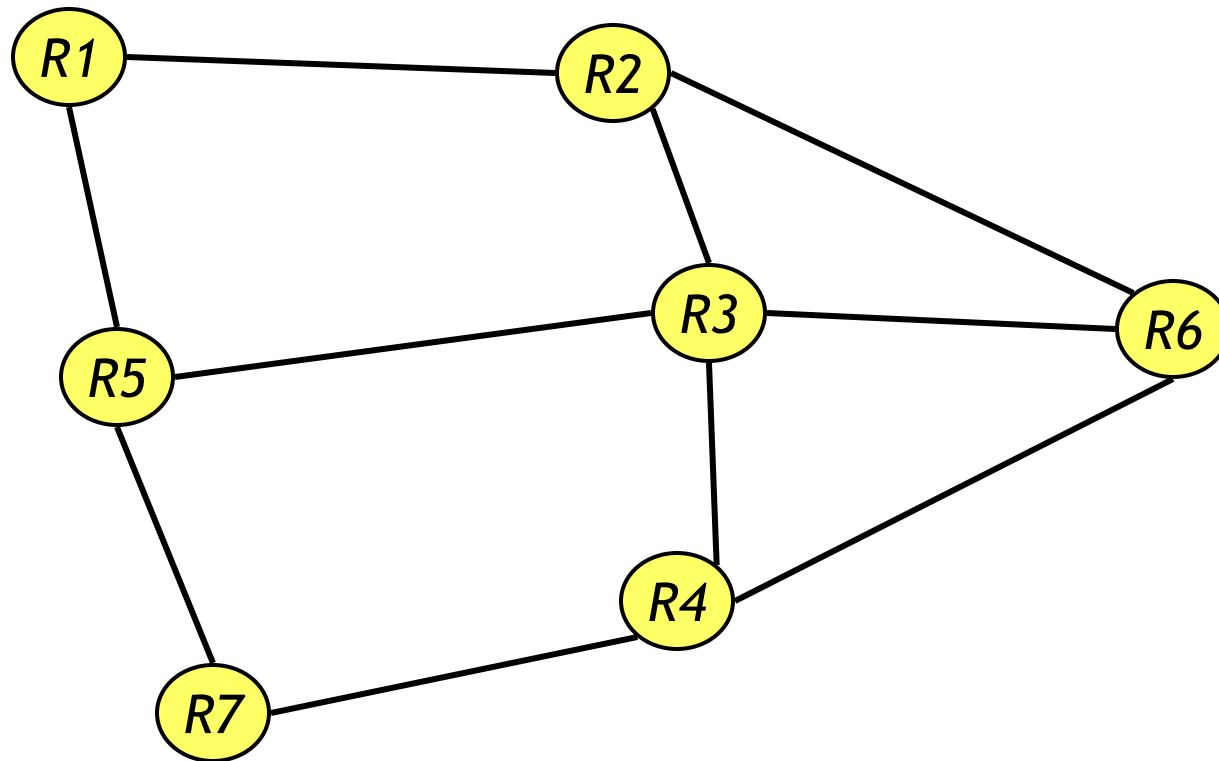


Routing

- a) Si rappresenti, mediante un grafo, la rete per il calcolo dei cammini minimi (solo i nodi e gli archi - no reti)
 - b) Si calcoli il cammino minimo tra R1 e tutti gli altri nodi mediante l'algoritmo di Dijkstra supponendo che ciascun arco abbia peso unitario
 - c) Si ripeta il calcolo assegnando a ciascun arco un peso pari a $100/C$ dove C è la velocità del link in Mb/s.
-

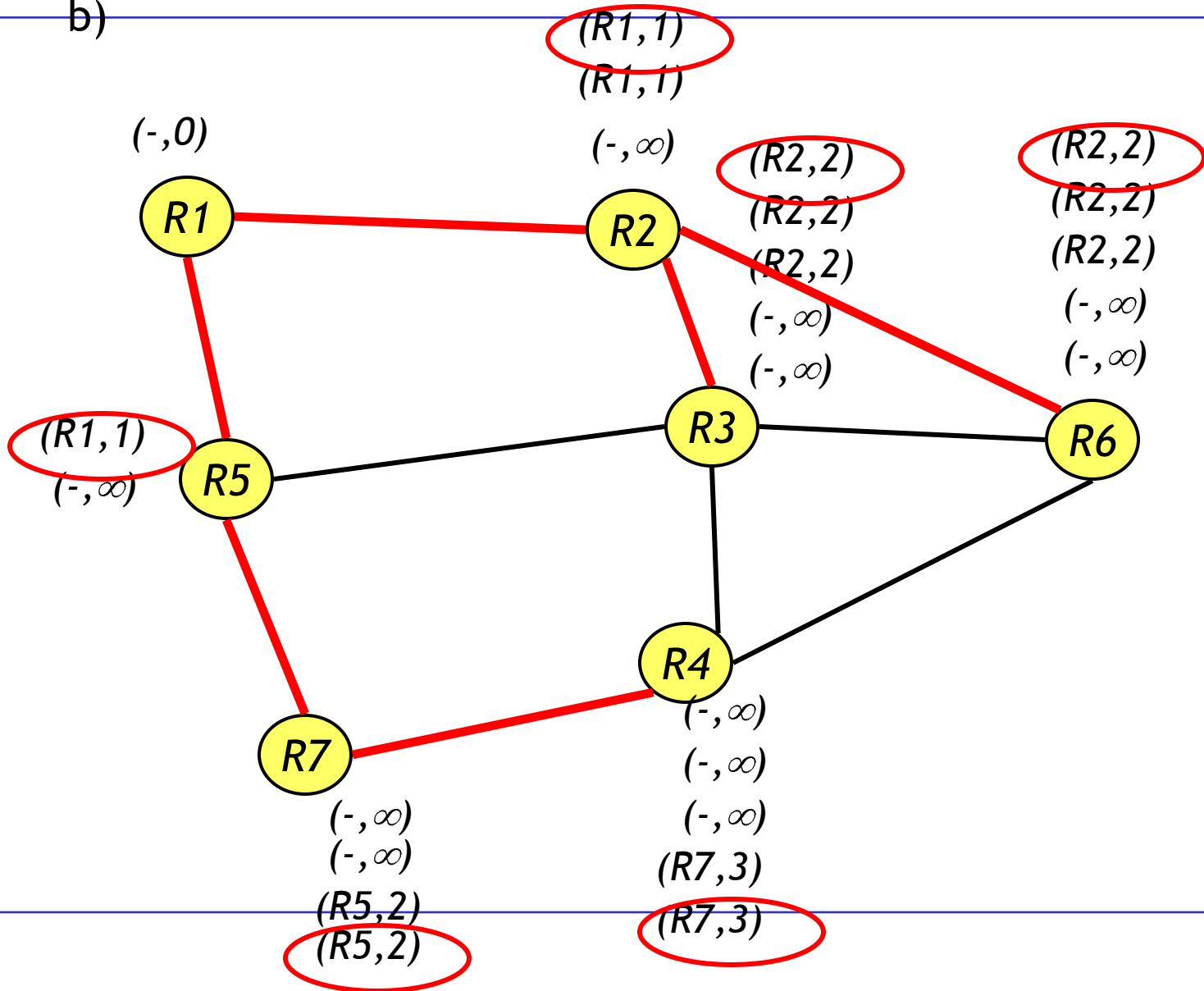
Soluzione

a)



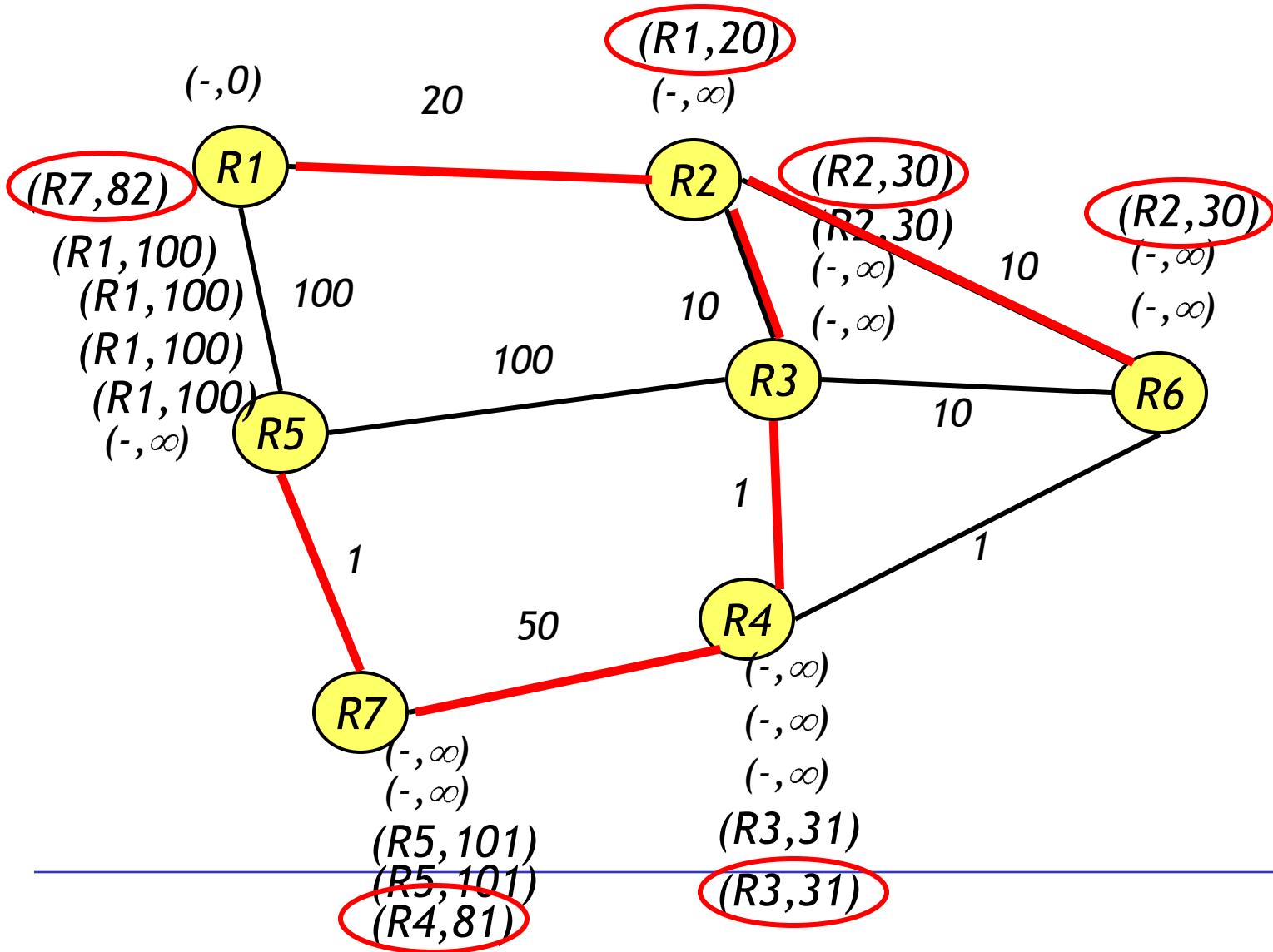
Soluzione

b)



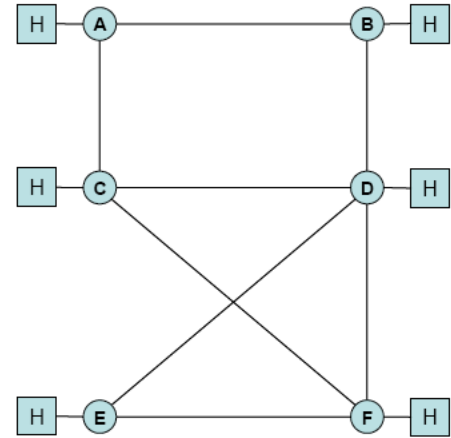
Soluzione

c)



Circuiti Virtuali

- Si consideri la rete a commutazione di pacchetto a chiamata virtuale avente 6 nodi e 8 rami bidirezionali rappresentata in figura. Assumendo che il numero b dei bit disponibili per identificare la specifica connessione tra host attraverso la rete sia $b = 2$, la figura mostra lo stato delle tabelle di attraversamento dei singoli nodi. Ogni tabella contiene da 8 a 16 voci e ogni voce identifica il nodo a monte (IN) e il nodo a valle (OUT) della connessione virtuale ed il rispettivo numero di identificazione della connessione entrante (IN) e uscente (OUT). Il simbolo H nella tabella indica sempre l'host associato al nodo stesso, che può essere sorgente (IN) o destinazione (OUT) della connessione virtuale. Si chiede di:



- indicare il numero N delle chiamate virtuali in atto sulla rete,
- individuare le chiamate virtuali in atto specificandole come coppia di nodi sorgente (Sorg) -destinazione (Dest)

IN	OUT
H3	B0
H0	B2
H1	B3
C2	B1
B3	H2

A

IN	OUT
A1	D2
D0	H3
A2	H1
D1	H0
A0	D1
A3	D0
D2	A3

B

IN	OUT
H0	D3
H1	D1
H3	D2
D2	H0
F2	A2
H2	D0
D0	H1

C

IN	OUT
F3	C0
C3	B0
F0	B1
F1	H3
B1	C2
B0	H1
C1	H0
C2	E0
H1	B2
C0	F1
B2	E3

D

IN	OUT
D0	H2
D3	H3

E

IN	OUT
D1	H3
H2	D0
H0	D3
H1	D1
H3	C2

F

Soluzione

- Per trovare il numero delle chiamate attive basta contare l'occorrenza di host (H) nelle colonne "IN" delle tabelle di inoltro.
- In questo caso si hanno 12 chiamate attive.

IN	OUT
H3	B0
H0	B2
H1	B3
C2	B1
B3	H2

A

IN	OUT
H0	D3
H1	D1
H3	D2
D2	H0
F2	A2
H2	D0
D0	H1

C

IN	OUT
F3	C0
C3	B0
F0	B1
F1	H3
B1	C2
B0	H1
C1	H0
C2	E0
H1	B2
C0	F1
B2	E3

D

IN	OUT
D0	H2
D3	H3

E

IN	OUT
D1	H3
H2	D0
H0	D3
H1	D1
H3	C2

F

IN	OUT
A1	D2
D0	H3
A2	H1
D1	H0
A0	D1
A3	D0
D2	A3

B

- Per individuare le coppie sorgente-destinazione basta seguire "la strada"