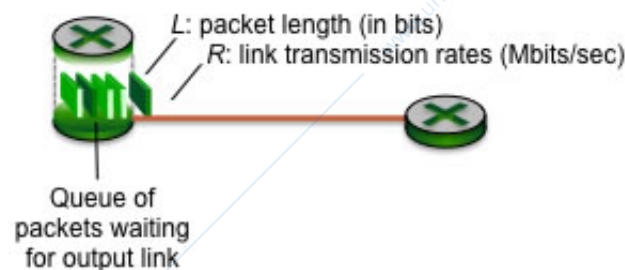


Architetture di Internet – esercizi livello Applicazione

Esercizio 1. Consideriamo la figura seguente, dove un router sta trasmettendo pacchetti di lunghezza $L = 1000$ bit su un collegamento singolo con velocità di trasmissione (o banda) $R = 1$ Mbps. Il collegamento ha una velocità di propagazione pari a $V = 3.0 \cdot 10^8$ m/s e lunghezza $D = 450$ m.



Supponendo che il ritardo di elaborazione d_{elab} sia costante e pari a 0.2 ms, e che il numero medio di pacchetti in attesa nella coda sia 5:

- Calcolare il ritardo di propagazione del collegamento
- Calcolare il ritardo di trasmissione del collegamento
- Calcolare il ritardo di accodamento del collegamento
- Quanto tempo passa tra la produzione di un pacchetto e la sua ricezione da parte del router alla fine del collegamento?
- Supponiamo che un file di dimensione $F = 1$ Gbit venga trasmesso sul collegamento con un flusso continuo di pacchetti. Calcolare il tempo necessario a trasmettere il file ed il throughput medio.
- Qual'è il throughput massimo del collegamento?

Soluzione.

- Il ritardo di propagazione dipende dalla lunghezza del collegamento e dalla velocità di propagazione del segnale:

$$d_{prop} = \frac{D}{V} = \frac{450}{3.0 \cdot 10^8} \frac{m}{m/s} = 150 \cdot 10^{-8} s = 1.5 \cdot 10^{-6} s$$

- Il ritardo di trasmissione dipende dalla dimensione del pacchetto e dalla velocità di trasmissione (banda) del collegamento:

$$d_{trasm} = \frac{L}{R} = \frac{1000}{1.0 \cdot 10^6} \frac{bit}{bit/s} = 1000 \cdot 10^{-6} s = 1.0 \cdot 10^{-3} s = 1.0 ms$$

- (c) Il ritardo di accodamento è il tempo che ogni pacchetto passa in attesa nella coda. Si può calcolare moltiplicando il numero di pacchetti in coda per il ritardo di trasmissione:

$$d_{acc} = N \cdot d_{trasm} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 5 \text{ ms}$$

- (d) Il tempo tra la produzione del pacchetto e la sua ricezione da parte del router alla fine del collegamento è detto *ritardo end-to-end* e si calcola sommando tutti i ritardi:

$$\begin{aligned} d_{end-to-end} &= d_{elab} + d_{trasm} + d_{prop} + d_{acc} = 0.2 \cdot 10^{-3} + 1.5 \cdot 10^{-6} + 1.0 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ s} \\ &= 6201.5 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 6.2015 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 6.2015 \text{ ms} \end{aligned}$$

- (e) Il tempo necessario a trasmettere il file dipende dal numero di pacchetti in cui viene suddiviso:

$$N = \frac{F}{L} = \frac{1 \cdot 10^9 \text{ bit}}{1000 \text{ bit}} = 10^6 \text{ pacchetti}$$

Poiché il file viene trasmesso come flusso continuo di pacchetti, il ritardo di propagazione va considerato solo per il primo pacchetto. Il tempo totale è quindi:

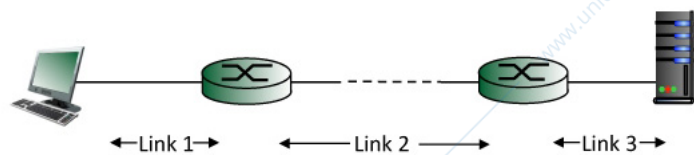
$$T = d_{prop} + N \cdot d_{trasm} = 1.5 \cdot 10^{-6} + 10^6 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 10^3 \text{ s}$$

Il throughput medio si calcola dividendo la dimensione del file per il tempo totale di trasmissione:

$$R_F = \frac{F}{T} = \frac{1 \cdot 10^9 \text{ bit}}{10^3 \text{ s}} = 10^6 \text{ bps}$$

- (f) Il throughput massimo del collegamento è uguale alla banda (1 Mbps)

Esercizio 2. Considerare la topologia di rete a tre link della figura seguente



- (a) Calcolare il ritardo end-to-end tra i due host nell'ipotesi che:
- il ritardo di elaborazione d_{elab} sia costante e pari a 0.1 ms
 - il ritardo di accodamento sia trascurabile
 - la dimensione del pacchetto sia pari a $L = 1000$ bit
 - il link 1 abbia banda $R_1 = 100$ Mbps e lunghezza $D_1 = 100$ m
 - il link 2 abbia banda $R_2 = 2$ Mbps e lunghezza $D_2 = 2500$ km
 - il link 3 abbia banda $R_3 = 10$ Mbps e lunghezza $D_3 = 1$ km
 - la velocità di propagazione nei tre link sia pari a $V = 2.5 \cdot 10^8$ m/s
- (b) Supponiamo che un file di dimensione $F = 1$ Gbit venga trasmesso sul collegamento con un flusso continuo di pacchetti. Calcolare il tempo necessario a trasmettere il file ed il throughput medio.
- (c) Qual'è il throughput massimo del collegamento?

Soluzione.

- (a) Il ritardo end-to-end viene calcolato come somma dei ritardi dei singoli collegamenti. Il ritardo di ogni collegamento è pari alla somma dei ritardi di elaborazione, di accodamento, di propagazione e di trasmissione.

Link 1:

$$d_{trasm}(1) = \frac{L_1}{R_1} = \frac{1000 \text{ bit}}{100 \text{ Mbps}} = \frac{1000}{100 \cdot 10^6} \text{ s} = 10^{-5} \text{ s} = 0.01 \text{ ms}$$

$$d_{prop}(1) = \frac{D_1}{V_1} = \frac{100 \text{ m}}{2.5 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ s} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ ms} = 0.0004 \text{ ms}$$

$$d_{link}(1) = d_{elab} + d_{trasm}(1) + d_{prop}(1) = 0.1 + 0.01 + 0.0004 \text{ ms} = 0.1104 \text{ ms}$$

Link 2:

$$d_{trasm}(2) = \frac{L_2}{R_2} = \frac{1000 \text{ bit}}{2 \text{ Mbps}} = \frac{1000}{2 \cdot 10^6} \text{ s} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 0.5 \text{ ms}$$

$$d_{prop}(2) = \frac{D_2}{V_2} = \frac{2500 \cdot 10^3 \text{ m}}{2.5 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 10^{-2} \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

$$d_{link}(2) = d_{elab} + d_{trasm}(2) + d_{prop}(2) = 0.1 + 0.5 + 10 \text{ ms} = 10.6 \text{ ms}$$

Link 3:

$$d_{trasm}(3) = \frac{L_3}{R_3} = \frac{1000 \text{ bit}}{10 \text{ Mbps}} = \frac{1000}{10 \cdot 10^6} \text{ s} = 10^{-4} \text{ s} = 0.1 \text{ ms}$$

$$d_{prop}(3) = \frac{D_1}{V_1} = \frac{1000 \text{ m}}{2.5 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ ms} = 0.004 \text{ ms}$$

$$d_{link}(3) = d_{elab} + d_{trasm}(3) + d_{prop}(3) = 0.1 + 0.1 + 0.004 \text{ ms} = 0.204 \text{ ms}$$

In conclusione:

$$d_{end-to-end} = d_{link}(1) + d_{link}(2) + d_{link}(3) = 0.1104 + 10.6 + 0.204 \text{ ms} = 10.9144 \text{ ms}$$

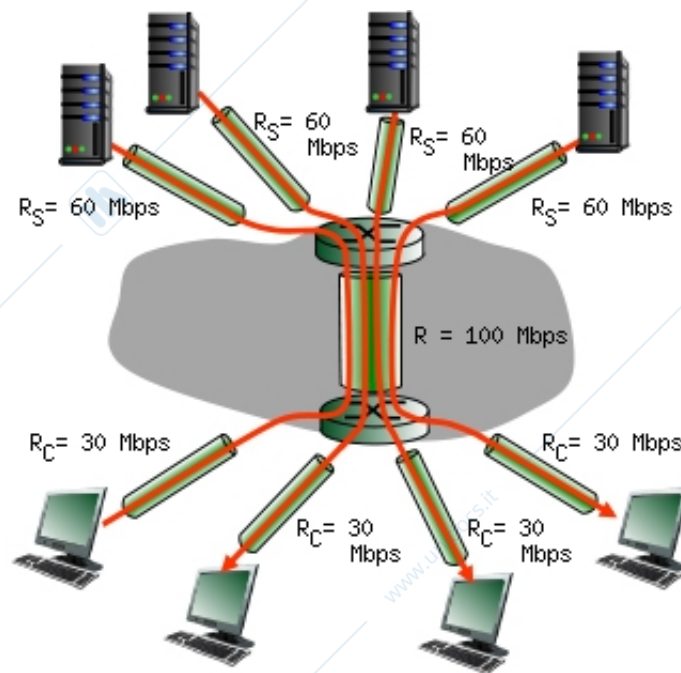
- (b) Nel caso di più collegamenti, il tempo di trasmissione ed il throughput sono determinati dal collegamento con banda più bassa, in questo caso il Link 2:

$$T = \frac{F}{R_2} = \frac{10^9}{2 \cdot 10^6} \frac{\text{bit}}{\text{bit/s}} = 500 \text{ s}$$

$$R_F = R_2 = 2 \text{ Mbps}$$

- (c) Il throughput massimo è dato dalla banda del collegamento che fa da collo di bottiglia, ossia il Link 2: 2 Mbps

Esercizio 3. Considerare la topologia di rete con un link condiviso della figura seguente



- (a) Calcolare il ritardo end-to-end tra un client ed un server nell'ipotesi che:
- i ritardi di elaborazione e di accodamento siano trascurabili
 - la dimensione del pacchetto sia pari a $L = 1500$ byte
 - il link dei server abbiano lunghezza $D_S = 50$ m
 - il link condiviso abbia lunghezza $D = 1000$ km
 - il link dei client abbiano lunghezza $D_C = 500$ m
 - la velocità di propagazione nei link sia pari a $V = 2.5 \cdot 10^8$ m/s
 - la banda del link condiviso venga ripartita equamente
- (b) Qual'è il throughput massimo del collegamento?

Soluzione.

- (a) Il ritardo end-to-end viene calcolato come somma dei ritardi dei singoli collegamenti.

Link Server:

$$d_{trasm}(S) = \frac{L}{R_S} = \frac{8 \cdot 1500 \text{ bit}}{60 \text{ Mbps}} = \frac{12000}{60 \cdot 10^6} \text{ s} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 0.2 \text{ ms}$$

$$d_{prop}(S) = \frac{D_S}{V} = \frac{50 \text{ m}}{2.5 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ s} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ ms} = 0.0002 \text{ ms}$$

$$d_{link}(S) = d_{trasm}(S) + d_{prop}(S) = 0.2 + 0.0002 \text{ ms} = 0.2002 \text{ ms}$$

Link condiviso:

$$d_{trasm}(L) = \frac{L}{R} = \frac{8 \cdot 500 \text{ bit}}{25 \text{ Mbps}} = \frac{12000}{25 \cdot 10^6} \text{ s} = 0.48 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 0.48 \text{ ms}$$

$$d_{prop}(L) = \frac{D_L}{V} = \frac{1000 \cdot 10^3 \text{ m}}{2.5 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 400 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 4 \text{ ms}$$

$$d_{link}(L) = d_{trasm}(L) + d_{prop}(L) = 0.48 + 4 \text{ ms} = 4.48 \text{ ms}$$

Link client:

$$d_{trasm}(C) = \frac{L}{R_C} = \frac{8 \cdot 500 \text{ bit}}{30 \text{ Mbps}} = \frac{12000}{30 \cdot 10^6} \text{ s} = 0.4 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 0.4 \text{ ms}$$

$$d_{prop}(C) = \frac{D_C}{V} = \frac{500 \text{ m}}{2.5 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 200 \cdot 10^{-8} \text{ s} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0.002 \text{ ms}$$

$$d_{link}(C) = d_{trasm}(C) + d_{prop}(C) = 0.4 + 0.002 \text{ ms} = 0.402 \text{ ms}$$

In conclusione:

$$d_{end-to-end} = d_{link}(S) + d_{link}(L) + d_{link}(C) = 0.2002 + 4.48 + 0.402 \text{ ms} = 5.022 \text{ ms}$$

- (b) Il throughput è determinato dal link che fa da collo di bottiglia, in questo caso da quello condiviso, dove ogni collegamento ha a disposizione 25 Mbps di banda.