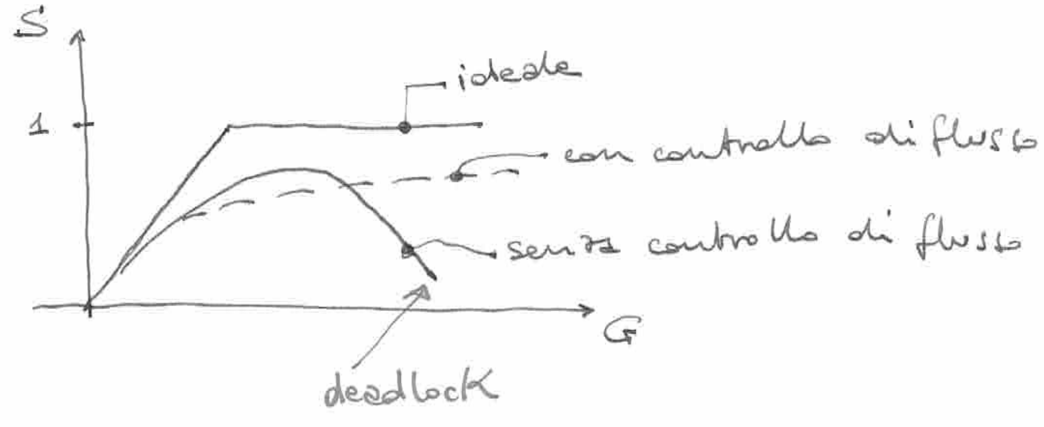
CONTROLLO DI FLUSSO

Il controllo di flusso risolve problemi quali i seguenti:

- Quando il traffico offerto è elevato una porzione di rete potrebbe non sostenerlo

- Inoltre i buffer delle code hanno lunghezze limitate e quando sono pieni i pkt vengono scartati

- Le ritrasmissioni poi aumentano ulteriormente il traffico offerto da cui cala il throughput e aumenta il ritardo ⇒ congestione



IL <u>controllo di flusso</u> deve

- risolvere la degradazione delle prestazioni all'aumentare del carico offerto

- garantire equità di servizio in congestione

- armonizzare le velocità di trasmissione fra le varie parti della rete

- Blocco sull'ingresso

I pkt nella rete di code possono arrivare dall'esterno (in numero n_S) o da altri nodi della rete (in numero n_R).

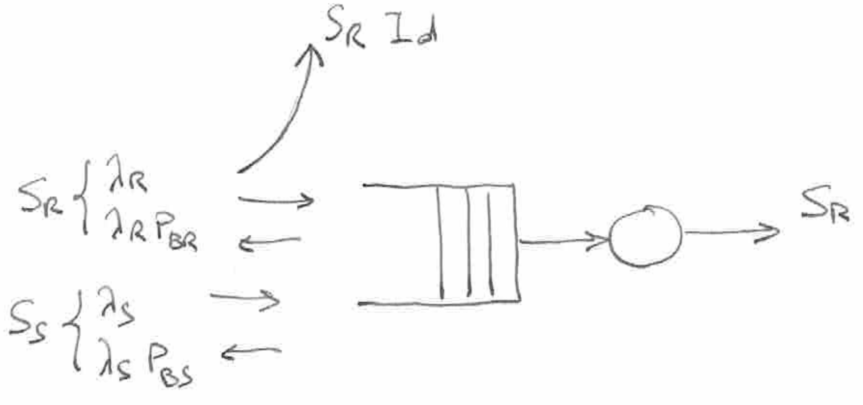
Y lungh. della coda

Si limitano i pkt dall'esterno bloccandoli forzatamente quando il loro numero supera $N_S < Y$ privilegiando così quelli già dentro la rete che possono invece accedere a tutto il buffer Y.

$n_S + n_R$ può essere $> Y$ e ci sarà prob. blocco

$n_S \le N_S < Y$

Ad un nodo della rete si sommano un flusso da altri nodi della rete (S_R) ed un flusso dall'esterno (S_S)



P_{BR} prob. blocco pkt interni alla rete

P_{BS} prob. blocco pkt esterni alla rete

Conservazione del flusso

$$S_R' + S_S' - S_R I_d = S_R$$

epurati dei blocchi (P_{BR}, P_{BS})

$$\boxed{\frac{S}{\mu} = \frac{H}{H+M-1}}$$ per rete chiuse in congestione

$\}$ Little con $\bar{\lambda} = S$

sulla rete di code

$$W_S = \frac{L_S}{S} = \frac{H}{S} = \frac{H+M-1}{\mu}$$

da cui $$\boxed{\mu W_S = \frac{M-1}{1-\frac{S}{\mu}}}$$

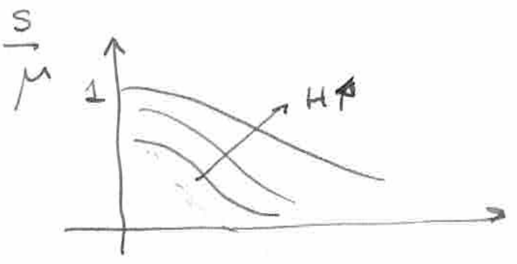
$$H\frac{S}{\mu} + M\frac{S}{\mu} - \frac{S}{\mu} = H$$

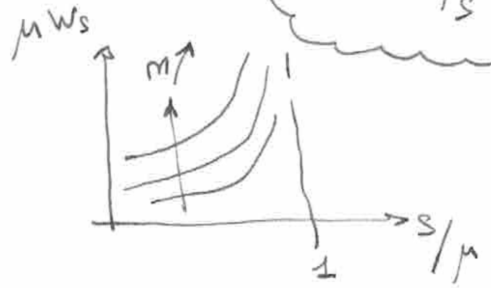
$$H\left(1-\frac{S}{\mu}\right) = -\frac{S}{\mu} + M\frac{S}{\mu}$$

$$M-1 = H\frac{\left(1-S/\mu\right)}{S/\mu}$$

$$M-1 = H\left(\frac{\mu}{S}-1\right)$$

$$H = \frac{M-1}{\frac{\mu}{S}-1}$$





Per ottimizzare il throughput e il tempo di permanenza è necessario bilanciare H rispetto a M e μ. Cerchiamo di massimizzare Γ:

$$\Gamma = \frac{S/\mu}{\mu W_S} \Rightarrow \frac{d}{d(S/\mu)}\Gamma = \phi \iff \frac{S}{\mu} = \frac{1}{2}$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{H = M-1}$$

L'approccio a finestra mobile si presta al controllo di flusso E2E (circuito virtuale).

Per le comunicazioni datagram viene spesso usata una politica di limitazione sugli ingressi dal nodo precedente H2H.

Nota, se $\lambda_i = \mu_i$

$g(h,m)$

$h \backslash m$	1	2	3	4	5	...
0	1	1	1	1	1	...
1	1	2	3	4	5	...
2	1	3	6	10	15	...
3	1	4	10	20	35	...
4	1	5	15	35	70	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		

triangolo di Tartaglia

1
1 1
1 2 1
1 3 3 1
1 4 6 4 1
1 5 10 10 5 1
- - -

Si può dimostrare che

$$\mathbb{P}\{n_i \geq k\} = \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^k \frac{g(H-k,M)}{g(H,M)}$$

$$\mathbb{P}\{n_i \geq H+1\} = 0 \quad \text{(finestra } H\text{)}$$

$$\mathbb{E}\{n_i\} = \sum_{k=1}^{+\infty} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^k \frac{g(H-k,M)}{g(H,M)}$$

si può limitare a H

Throughput i-esimo sistema a coda

$$S_i = \mu_i \mathbb{P}\{n_i \geq 1\} = \mu_i \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^1 \frac{g(H-1,M)}{g(H,M)} = \lambda_i \frac{g(H-1,M)}{g(H,M)}$$

In congestione $\lambda_i = \mu_i = \mu \quad \forall i \Rightarrow \boxed{S_i = \mu \frac{g(H-1,M)}{g(H,M)} \quad \forall}$

S sul generico nodo

$$\Downarrow$$

$$g(h,m) = \binom{h+m-1}{m-1} = \frac{(h+m-1)!}{(m-1)!\,h!}$$

da cui $$\frac{S}{\mu} = \frac{(H+M-2)!}{(M-1)!(H-1)!} \frac{(M-1)!H!}{(H+M-1)!} = \frac{H}{H+M-1}$$

sistema a code chiuse:

no arrivi dall'esterno $I_{si} = \emptyset \quad \forall i$

no partenze verso l'esterno $I_{id} = \emptyset \quad \forall i$

dal teor. di Jackson e dalla conservazione del flusso la prob di stato $\underline{n} = (n_1, n_2, \dots, n_M)$ risulta

$$\mathbb{P}\{\underline{n}\} = \mathbb{P}\{\underline{\emptyset}\} \prod_{i=1}^{M} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{n_i}$$

$\mathbb{P}\{\underline{\emptyset}\}$ va interpretato come un coeff. di normalizzazione (se il numero di pkt è costante sarebbe $\mathbb{P}\{\underline{\emptyset}\} = \emptyset$)

Evento certo $$\sum_{\underline{n} : \sum_{i=1}^{M} n_i = H} \mathbb{P}\{\underline{\emptyset}\} \prod_{i=1}^{M} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{n_i} = 1$$

da cui

$$\mathbb{P}\{\underline{\emptyset}\} = \mathcal{G}(H, M)^{-1}$$

con $$\boxed{\mathcal{G}(H, M) = \sum_{\underline{n} : \sum_{i=1}^{M} n_i = H} \prod_{i=1}^{M} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{n_i}}$$ funz. di Buzen

Teor. di Buzen

La funzione $\mathcal{G}(H, M)$ può essere determinata per via ricorsiva $\quad h = \emptyset, 1, \dots, H \; ; \; m = 1, 2, \dots, M$

$$\boxed{\begin{array}{l} \mathcal{G}(h, 1) = \left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^{h} \\ \mathcal{G}(\emptyset, m) = 1 \end{array}}$$

$$\boxed{\mathcal{G}(h, m) = \mathcal{G}(h, m-1) + \frac{\lambda_m}{\mu_m} \mathcal{G}(h-1, m)}$$

$\mathcal{G}(-1, m) = \emptyset \; , \; \mathcal{G}(h, \emptyset) = \emptyset$

Controllo di flusso:

- <u>end-to-end</u> : a livello di trasporto, usato soprattutto nelle comunicazioni a circuito virtuale
- <u>hop-to-hop</u> : a livello di collegamento o di rete, si propaga sui collegamenti a monte (back pressure)

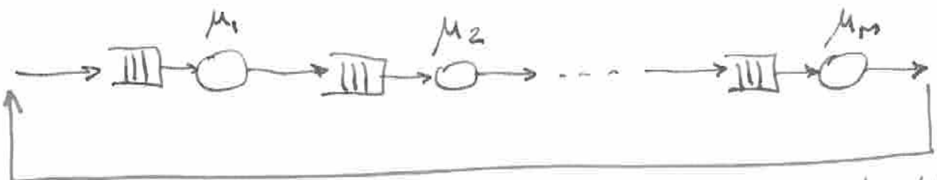
Vediamo un esempio di tecnica di controllo di flusso end-to-end

1) Finestra mobile

Si impone che il numero di pacchetti su una singola comunicazione sia fissato a priori pari a H.

I pkt sono numerati 1:H, H rappresenta il massimo numero di pkt pendenti nella rete appartenenti al circuito

L'analisi della finestra mobile è complessa ma può essere semplificata considerando il <u>sistema a code chiuse</u>

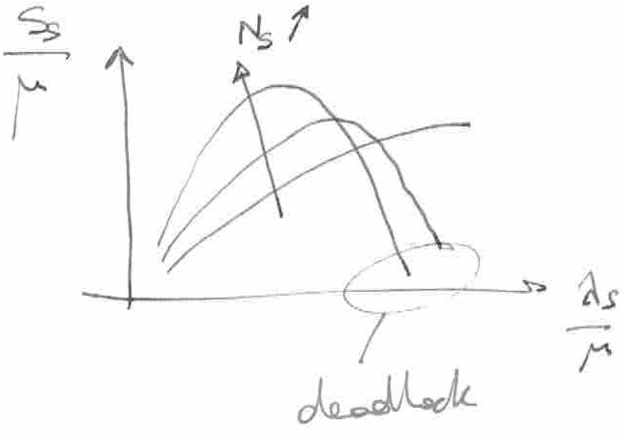


Questa condizione è estrema per il controllo di flusso (# pkt costante e massimo nel circuito)

Lo studio in presenza di alcune hp semplificatrici indica una capacità di trasporto della rete

$$\frac{S_s}{\mu} = \frac{\lambda_s}{\mu}\left(1 - P_{BS}\right)$$

funzione dei tassi di arrivo e della soglia N_s e della coda Y



N_s piccolo (rispetto a Y) può evitare il deadlock.