



Univerza v Ljubljani
Fakulteta
za računalništvo
in informatiko



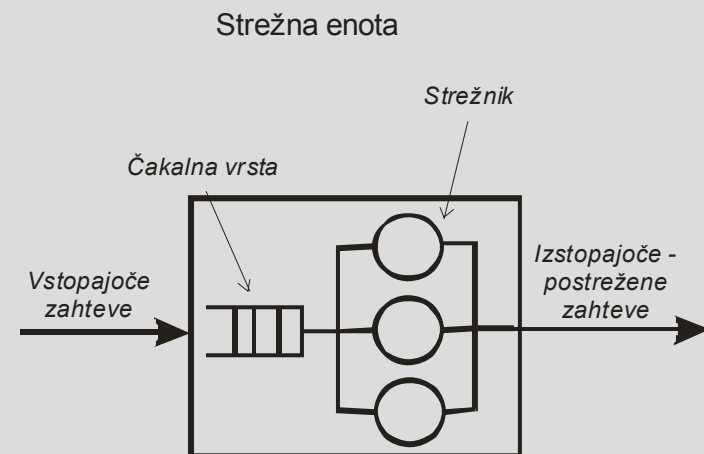
2. Osnove teorije strežbe

Vsebina 1.poglavja predavanj OMIS
(3.VSŠ/LS+PO)



2.1. Strežna enota, strežna mreža

- Strežna enota (SE):
 - 1 čakalna vrsta;
 - n paralelno vezanih strežnikov ($n \geq 1$)
 - Ponuja 1 strežbo
- Strežna mreža (SM): poljubna vezava m strežnih enot ($m > 1$)



- Strežno enoto lahko opišemo z Kendallovo notacijo: A/B/m/K/M/Q
 - A: porazdelitev medprihodnih časov zahtev
 - B: porazdelitev strežnih časov zahtev
 - m: število strežnikov v SE (paralelno vezanih)
 - K: kapaciteta sistema, privzeto ∞ (K=dolžina vrste+m=maskimalno število zahtev v sistemu)
 - M: velikost populacije zahtev (v sistemu in njegovi zunanosti), privzeto ∞
 - Q: opis strežne discipline, privzeto: FIFO

- Poziciji A in B lahko zasedeta vrednosti:
 - M – eksponentna porazdelitev
 - D – deterministična porazdelitev
 - E – Erlangova porazdelitev
 - G – Splošna verjetnostna porazdelitev
- Zgled; M/M/1//20 predstavlja SE z:
 - Eksponentno porazdelitvijo časov
 - 1 strežnik
 - Velikost populacije zahtev je končna (20)

- Strežne discipline:
 - FIFO (angl. First in First out)
 - LIFO (angl. Last in First Out – skladovna strategija)
 - Prioritetna disciplina
 - Naključna disciplina
 - Disciplina razporejanja časa (angl. Time sharing)

2.2. Vhodni proces

- Medprihodni časi zahtev (konstantni, naključni ali časovno spremenljivi)
- λ - intenzivnost prihajanja zahtev (št.zahtev/časovno enoto)

2.3. Strežna enota

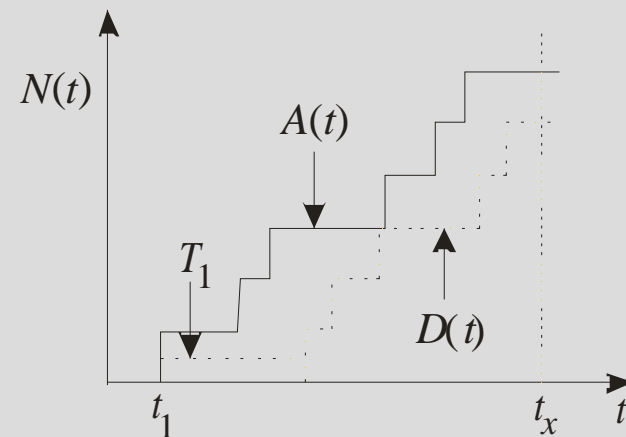
- Čakalna vrsta in paralelno vezanih n strežnikov;
- Posamezni strežnik: μ - intenzivnost strežbe (število postreženih zahtev/časovno enoto)
- n strežnikov: maksimalna intenzivnost strežbe v SE = $\mu * n$
- povprečni čas strežbe posamezne zahteve $x = 1 / \mu$ v posameznem strežniku

2.4. Numerične značilnosti strežnih enot

- $N(t)$ – število zahtev v SE v času t
- N – povprečno število zahtev v SE v določenem časovnem intervalu
- T – povprečni čas bivanja posamezne zahteve v SE
- W – povprečni čas zadrževanja zahteve v vrsti
- $P_k(t)$ – verjetnost k zahtev v SE v času t
- N_q, N_s , povprečno število zahtev v vrsti, povprečno število zahtev v strežbi
- $N = N_q + N_s$
- $T = W + x$

2.4.1 Little-ov teorem

- $N = T \cdot \lambda$
- Izpeljava na osnovi razlike stopničastih funkcij s slike na desni ($N(t) = A(t) - D(t)$)
- $N = N(t) / t$
- A – število zahtev, ki so od časa 0 do t vstopile v sistem
- D – število zahtev, ki so v času od 0 do t iz sistema izstopile

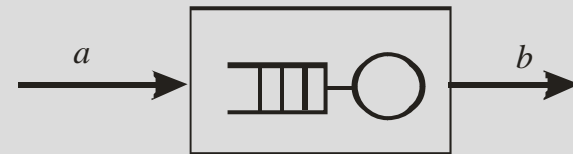


2.4.2. Uporabnostni faktor in intenzivnost prometa

- Uporabnostni faktor:
 - $N_q = \lambda * W$
 - $N_s = \lambda * x = \lambda / \mu = \rho$ (če imamo le en strežnik v SE), brez enote
 - Cilj: $0 = \rho < 1$
- Intenzivnost prometa:
 - $\lambda * x = \lambda / \mu = \rho$ (enota Erlang, uporaba za meritev n-kratnika preobremenitve strežbe)

2.4.3. Zakon o ohranitvi pretoka

- Predpostavka $a \neq b$
- Prva možnost $a > b$ vodi v eksplozijo sistema, ker ne moremo realizirati poljubno dolge vrste, zahteve pa se v sistemu vse bolj kopičijo
- Druga možnost $a < b$ vodi v sklep, da se nekje v notranjosti SE zahteve porojevajo, česar pa SE po definiciji ne omogoča
- Sklep: predpostavka $a \neq b$ je napačna, torej $a = b$



2.5. Mesto izstopa zahtev – izhodni proces

- Medizhodni časi iz sistema = časi strežbe zahtev (konstantni, naključni ali časovno spremenljivi)
- Intenzivnost odhajanja zahtev (št.zahtev/časovno enoto) $= \lambda < m \cdot \mu$ (ob m strežnikih v SE)
- Izhodni proces okarakteriziramo z M, D, E, G (glej Kendallova notacija)

2.6. Poissonov proces (PP)

- Gre za proces, v katerem so časi porazdeljeni eksponentno (M) -> prihajalni in strežni proces sta ob oznaki M Poissonova procesa
- Interpretacija PP: proces štetja naključno se porajajočih točk v časovnem intervalu (0,t)
- $P(X(t)=k)$ verjetnost porajanja k točk na intervalu (0,t)
- $P(X(t)=k) = (\lambda * t)^k e^{-\lambda t} / k!$
- $\lambda * t$ – povprečno št.pojavitev točk v časovnem intervalu

- Lastnosti PP:
 - Superpozicija: če združimo k neodvisnih PP dobimo nov PP
 - Eksp.porazdeljenost časov \leftrightarrow PP
 - Verjetnost neporajanja zahteve na $(0,t)$:
 - $P_0(t) = 1 - e^{-\lambda t}$
 - Čas porajanja nove točke (zahteve) je neodvisen od časa porajanja predhodne točke - zahteve

2.7. Stohastični proces (SP)

- SP je proces, v katerem je dinamika (spreminjanje stanj sistema) vsaj deloma odvisna od statistično pogojenih spremenljivk
- SP determiniran z
 - Prostorom stanj: $X(t)$, zaloga stanj končna (diskretna stanja ali stohastična veriga) ali nekončna
 - Časovnim parametrom:
 - diskretni čas – stohastično zaporedje (X_n)
 - zvezni čas – $X(t)$

	Diskr.prost.stanj	Zvez.prost.stanj
Diskretni čas	Dis.čas.stoh.veriga	Dis.čas.stoh.proces
Zvezni čas	Zvez.cas.stoh.veriga	Zvez.cas.stoh.proces

2.8. Markovski proces (MP)

- MP: Novo stanje procesa je odvisno le od trenutnega stanja procesa, ne pa od njegovih predhodnikov – brez sposobnosti pomnjenja
- Eksperiment metanja kovanca:
 - X_k : izid cifra ($X_i=1$)/mož ($X_i=0$) pri k -tem metu
 - Y_k : kumulativa vseh cifer do vključno k -tega meta
 - $Y_k = Y_{k-1} + X_k$, $Y_0 = 0$
 - X_k – zaporedje naključnih spremenljivk (stohastični proces)
 - Y_k – Markovska veriga (novo stanje Y_k odvisno le od predhodnega stanja Y_{k-1})

2.8.1. Diskretne Markovske verige

- Množica diskretnih stanj (veriga) **z diskretnim časom**
- p_{ij} – verjetnost prehajanja iz stanja i v j
- Če je p_{ij} v času nespremenljiv imenujemo proces za stacionaren (časovno homogena markovska veriga)
- $X_k=j$: na koraku k smo v stanju j
- $\pi_j^{(k)}=P(X_k=j)$
- $P(X_{k+1}=j)=\sum P(X_k=i) P(X_{k+1}=j|X_k=i)= \sum \pi_i^{(k)} p_{ij}$
- Matrični zapis verjetnosti prehajanj (prehajalna matrika M), $M=(p_{ij})$, matrika reda $n*n$ glede na n možnih različnih stanj v verigi

- i -ta vrstica, j -ti stolpec v M : p_{ij} – verjetnost prehoda iz i v j
- $\sum(p_{ij})=1, j=1..n$
- Za poznavanje verige moramo poleg matrike poznati tudi začetno porazdelitev verjetnosti stanj $\pi^{(0)} = (\pi_1^{(0)}, \pi_2^{(0)}, \dots, \pi_n^{(0)})$ glede na n možnih različnih stanj v verigi
- V splošnem ob stacionarnosti verjetnosti velja: $\pi^{(k)} = \pi^{(0)} * M^k$

Stacionarnost v Markovski verigi (MV)– limitne verjetnosti stanj (neodvisne od začetne verjetnostne porazdelitve stanj) – stacionarna stanja:

- MV ima limitne verjetnosti, če je ergodična (aperiodičnost, nereducibilnost, časovna homogenost)
 - reducibilnost: vsebuje več lot eno izolirano podmnožico stanj
 - Periodičnost: vračanje v stanja z isto periodo
 - Časovna homogenost: nespremenljivost verjetnosti prehajanj skozi čas

$$\sum_j \pi_j = 1, \pi_j = \sum_i \pi_i p_{i,j}$$

2.9. Zvezna časovna Markovska veriga

- Vpeljava zveznega časa (prehajanje se izvede v poljubni časovni točki z realne osi)
- Stohastičnost
- Brez pomnjenja

$$P(X(t_{k+1}) = j / X(t_1) = i_1, X(t_2) = i_2, \dots, X(t_k) = i_k) =$$

$$P(X(t_{k+1}) = j / X(t_k) = i_k), t_1 < t_2 < \dots < t_k < t_{k+1}$$

- $q_{i,j}$: intenzivnost prehajanja iz stanja i v stanje j
- verjetnost prehajanja iz i v j je $p_{i,j}$
- intenzivnost prehajanja iz stanja i se izraža kot
- Q matrika intenzivnosti prehajanja stanj $Q=[q_{i,j}]$

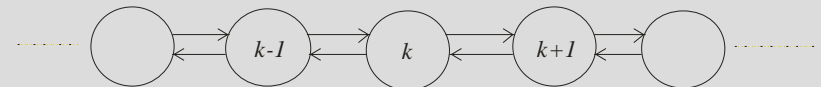
$$p_{i,j} = (t, t + \Delta t) = q_{i,j} * \Delta t$$

$$\sum_{i \neq j} q_{i,j}$$

$$q_{j,j} = -\sum_{k \neq j} q_{j,k} \Rightarrow \sum_j q_{i,j} = 0$$

2.10. Rojstno smrtni proces

- Posebna oblika Markovske verige, kjer so prehodi možni le v “sosednja” stanja
- “rojstno smrtni”: velikost populacije v sistemu v času t
- k zahtev \rightarrow stanje E_k , $E_k \rightarrow E_{k+1}$ rojstvo zahteve, $E_k \rightarrow E_{k-1}$ smrt zahteve
- Predpostavka: smrt in rojstvo se ne moreta zgoditi istočasno



$$\lambda_k = q_{k,k+1}, \mu_k = q_{k,k-1}$$

$$Q = \begin{bmatrix} -\lambda_0 & \lambda_0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_1) & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & -(\mu_2 + \lambda_2) & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_3 & -(\mu_3 + \lambda_3) & \lambda_3 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_4 & -(\mu_4 + \lambda_4) \end{bmatrix}$$

- Čisti rojstno smrtni proces: $\lambda_k = \lambda > 0, \mu_k = 0$

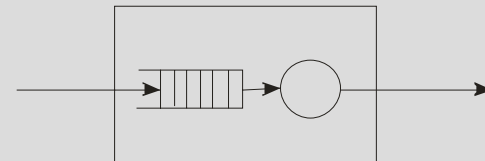
2.11. Markovski strežni sistemi z eno čakalno vrsto

- Prihajanje zahtev modeliramo s Poissonovim procesom
- Strežba zahtev z eskoponento porazdeljenimi časi
- Zanimajo nas P_k (verjetnost k zahtev v sistemu) in pa N (povprečno št.zahtev v sistemu)

$$N = \sum_k k P_k$$

2.11.1. M/M/1 sistem

- $\lambda_k = \lambda$, $\mu_k = \mu$: neodvisnost obeh intenzivnosti od trenutnega števila zahtev v sistemu – neodvisnost intenzivnosti od stanja sistema (stanje sistema ponazarja število zahtev v njem)
- privzete vrednosti: neskončna kapaciteta sistema, neskončna populacija, FIFO strežna disciplina



- Ravnotežne enačbe glede na sosedo stanja k :

$$(\lambda + \mu)P_k = \lambda P_{k-1} + \mu P_{k+1}, k \geq 1$$

$$\mu P_1 = \lambda P_0, k = 0$$

\Rightarrow

$$P_0 = 1 - \rho,$$

$$P_k = (1 - \rho)\rho^k$$

- Numerične značilke M/M/1:

$$P(N \geq n) = \rho^n$$

$$N = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$T = N / \lambda = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$N_s = \rho = 1 - P_0$$

$$W = T - 1 / \mu = \frac{\rho}{\mu - \lambda}$$

$$N_q = \lambda * W = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

- Posebna vrsta M/M/1: omahljiv strežni sistem:
 - $\lambda_k = \lambda / (k+1)$... Več je zahtev v sistemu (k), manjša bo intenzivnost prihajanja zahtev

2.11.2 M/M/1/s sistem

- s – (končna) kapaciteta sistema: v sistemu se lahko nahaja največ $(s-1)$ zahtev v vrsti in 1 zahteva v edinem strežniku $(s-1)+1=s$
- posledično je s tem diagram prehajanja stanj omejene na desni strani
- veljajo izrazi:

$$P_0 \sum_{k=0}^s \rho^k = 1 \Rightarrow P_0 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{s+1}},$$

$$P_k = \frac{(1-\rho)\rho^k}{1-\rho^{s+1}}$$

- če je v sistemu s zahtev, se novoprispele zahteve izgubljajo: $\lambda = \lambda' + \lambda * p_b$
- λ - intenzivnost prihajajočih zahtev
- p_b – verjetnost polnega sistema in s tem izgube novoprispele zahteve
- λ' – intenzivnost zahtev, ki so vstopile v nezaseden sistem
- $\lambda' = \lambda * (1 - p_b)$

- veljajo izrazi:

$$P_b = \frac{(1-\rho)\rho^s}{1-\rho^{s+1}},$$

$$N = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{\rho}{1-\rho} (s+1) * P_b$$

$$N_s = 1 - P_0 = \rho(1 - P_b)$$

$$N_q = N - N_s$$

$$T = \frac{N}{\lambda'}$$

$$W = \frac{N_q}{\lambda'}$$

2.11.3 M/M/m sistem

- m paralelno vezanih funkcionalno in zmogljivostno ekvivalentnih strežnikov
- diagram prehajanja stanj
- strežna intenzivnost $m^* \mu$
- veljajo izrazi:

$$\rho = \frac{\lambda}{m^* \mu},$$

$$P_d = \frac{P_0^* a^m}{m!(1-\rho)}, a = \frac{\lambda}{\mu},$$

$$N_q = \frac{\rho}{1-\rho} P_d = \frac{\lambda}{m^* \mu - \lambda} P_d$$

$$W = N_q / \lambda$$

$$T = W + 1 / \mu$$

2.11.4. Ostali sistemi

- M/M/m/m sistem
 - brez čakalne vrste
 - izgubni sistem
 - diagram prehajanja stanj
- Engsetov izgubni M/M/m/m/k sistem:
 - končnost populacije zahtev
- Round Robin sistem