



## Løsningsskisse

- a) Anta først at sentralenhetens betjeningstid av pakker er konstant med forventning  $\mu_{SE}^{-1}$ . På grunn av sanntids-trafikk settes det som krav at maksimal forsinkelse gjennom ruterer skal være 10 [ms]. Hva blir maksimal I/O-minnekapasitet  $N_{IO}$ ?

“Konstant med forventning” betyr “Konstant”

Kravet er maksimal forsinkelse,  $D_{\max} = 10$  [ms].

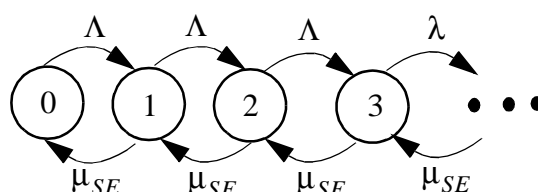
Dette betyr at en pakke kan ligge maksimalt 10 ms i I/O-minnet. Med konstant betjeningstid,  $\mu_{SE}^{-1}$ , så kan minnet romme maksimalt,  $N_{IO}$ , gitt av

$$N_{IO} = D_{\max} \mu_{SE} = 10 \text{ pakker} \quad (1)$$

- b) Lag en tilstandmodell av denne ruterer. Vis tydelig hva som er tilstandsvariable og hva som blir intensiteter på transisjonene mellom tilstandene. Bruk Kendalls notasjon for å beskrive hva slag modell dette er. Hva blir forventet utnyttelse av sentralenheten? Hva blir forventet antall pakker i I/O-minnet?

Velger antall i I/O-minnet som tilstandsvariable. Antar kun en pakke kan betjenes av gangen.

Ankomstintensitet:  $\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i = N\lambda = 10 \cdot 0.07 = 0.7$



Kendall: M/M/1/ $\infty$ .

Utnyttelse av sentralenheten:

$$E(X) = \sum_{i=0}^{\infty} \min(1, i) p_i = \sum_{i=1}^{\infty} 1 \cdot p_i = 1 - p_0 = \Lambda / \mu_{SE} = 0.7 \quad (2)$$

Antall i I/O-minnet (merk! her er denne lik antall i systemet ettersom pakken ligger i minnet både mens den betjenes og venter på betjening).

$$E(IO) = E(S) = \frac{A}{1-A} = \frac{\Lambda}{\mu - \Lambda} = \frac{7}{3} = 2.333 \quad (3)$$

- c) Hva blir forventet tid mellom pakkeankomster til I/O-minnet? Hva er sannsynligheten for at når en pakke ankommer så er det til linjemodul  $i$ ?

Forventet tid mellom pakkerankomster:  $E(T) = 1/\Lambda = 1.429$

Sannsynligheten for pakke fra  $i$  gitt at pakker ankommer (antatt fra en kommunikasjonslinje):  $p_i = \lambda_i / \Lambda = 0.1$

- d) Hva blir fordelingen av tid til neste pakkeankomst på linjemodul  $i$  fra et vilkårlig tidspunkt?

Fra (25) i formelsamlingen er det kjent at fordelingen til  $R$ , restlevetiden fra vilkårlig tidspunkt, er:

$$f_R(t) = \frac{1 - F_T(t)}{E(T)} \quad (4)$$

hvor  $T$  er tid mellom ankomster. Vet at tid mellom ankomster til linjemodul  $i$  er neg.eks. fordelt:

$$\begin{aligned} F_{T_i}(t) &= 1 - e^{-\lambda_i t} \\ f_{T_i}(t) &= \lambda_i e^{-\lambda_i t} \\ E(T_i) &= 1/\lambda_i \end{aligned} \quad (5)$$

Dermed er restlevetidsfordelingen fra vilkårlig tidspunkt for pakker over linjemodul  $i$ :

$$f_{R_i}(t) = \frac{1 - F_{T_i}(t)}{E(T_i)} = \frac{e^{-\lambda_i t}}{1/\lambda_i} = \lambda_i e^{-\lambda_i t} = f_{T_i}(t) \quad (6)$$

altså lik fordelingen til tid mellom pakker. Årsak: neg.eksp. fordelingen er hukommelsesløs.

- e) Sett opp det symbolske uttrykket for intensiteten av pakker som rutes ut via linjemodul  $j$ ,  $\lambda_j^u$ . Foreslå en effektiv rutine som trekker tilfeldig fra sannsynlighetene  $p_{ij}$  og bestemmer hvilken linjemodul en innkommende pakke skal rutes ut via.

Intensiteten for pakker  $ut$  av linjemodul  $j$ :

$$\lambda_j^u = \sum_{i=1}^N \lambda_i p_{ij} \quad (7)$$

Trekningsrutine for valg av utgående module for pakker som ankom modul  $i$ :

1. Sett  $j = 1$  og  $p = p_{ij}$
2. Trekk  $U$  fra Unif(0,1]
3. Hvis  $U < p$ , så velg  $j$  og avslutt
4. Sett  $j = j + 1$  og  $p = p + p_{ij}$  og gå til 3.

Merk at det ikke sjekkes om  $j \neq i$ . Dette er ikke nødvendig hvis man setter  $p_{ii} = 0$ .

- f) Komponentene i ruterer kan feile både på grunn av fysiske, transiente og intermitterende feilårsaker. Forklar kort disse 3 feilmodi.

Se kompendiet side 174.

- g) Hva blir uttrykket for stasjonærtilgjengeligheten for linjemodulene,  $A_{LM}$ ? Hva blir uttrykket for midlere tid til feil i sentralenheten,  $MTTF_{SE}$ ? Hva blir uttrykket for funksjonssannsynligheten for I/O minnet,  $R_{IO}(t)$ ?

Det var ment å spørre etter stasjonærtilgjengeligheten for en linjemodul uttrykk ved  $\lambda_{LM}$  og  $\mu_{LM}$ . Svar med stasjonærtilgjengeligheten til alle linjemodulene vil også aksepteres hvis antakelsen om uavhengighet i feil og reparasjon gjøres.

Stasjonærtilgjengeligheten til linjemodulen:  $A_{LM} = \mu_{LM}/(\lambda_{LM} + \mu_{LM})$

Stasjonærtilgjengeligheten til alle linjemodulene (feil or reparasjon uavhengig):

$$A_{\Sigma LM} = (\mu_{LM}/(\lambda_{LM} + \mu_{LM}))^{10}.$$

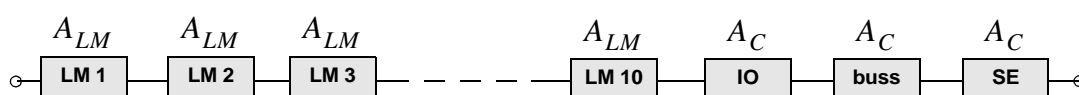
Midlere tid til feil i sentralenheten,  $MTTF_{SE} = 1/\lambda_C$

Funksjonssannsynligheten for I/O minnet,  $R_{IO}(t) = e^{-\lambda_C t}$ . Her må det antas at feilprosessen er Poisson. Ikke nødvendig over.

- h) Forklar nødvendige antakelser for å kunne beregne stasjonærtilgjengeligheten for ruterer ved hjelp av pålitelighetsblokkskjema. Sett opp pålitelighetsblokkskjema og beregn stasjonærtilgjengeligheten for ruterer under disse antakelsene. Sett inn tallverdiene som angitt over. Foreslå komponentredundans (anta at det ikke er mulig med linjemodul-redundans) slik at stasjonærtilgjengeligheten for ruterer blir bedre enn 0.030. Angi 2 minimale stisett for ditt system med komponentredundans.

Beregning av stasjonærtilgjengeligheten ved hjelp av pålitelighetsblokkskjema forutsetter at både feilhendelser og reparasjoner i en komponent skjer uavhengig av feilhendelser og reparasjoner i andre komponenter.

Blokkskjema blir en enkelt seriestruktur:



Stasjonærtilgjengeligheten for IO-minne, buss og SE:

$$A_C = \mu_C/(\lambda_C + \mu_C) = 0.1/(0.1 + 0.001) = 0.9901 \quad (8)$$

Stasjonærtilgjengeligheten for ruterer:

$$A_R = A_{LM}^{10} \cdot A_C^3 = \left( \frac{\mu_{LM}}{(\lambda_{LM} + \mu_{LM})} \right)^{10} \cdot \left( \frac{\mu_C}{(\lambda_C + \mu_C)} \right)^3 \quad (9)$$

Innsatt numeriske verdier:  $A_R = 0.999^{10} \cdot 0.99^3 = 0.9609$

Legger til en sentralenhet til (f.eks. i dette systemet gjør det pålitelighetsmessig sammen nytten å legge til en buss eller et IO-minne):

Stasjonærtligjengeligheten med redundans:

$$A_R = A_{LM}^{10} \cdot A_C^2 \cdot (1 - (1 - A_C)^2) \quad (10)$$

Innsatt numeriske verdier:  $A_R = 0.999^{10} \cdot 0.99^2 \cdot (1 - (1 - 0.99)^2) = 0.9705$

Ser at utilgjengeligheten nå blir  $U_R = 1 - A_R = 0.0296$  som er bedre enn 0.030.

De to stisett i den foreslåtte redundante strukturen blir

$\{LM_1, LM_2, \dots, LM_{10}, IO, Buss, SE_1\}$  og  $\{LM_1, LM_2, \dots, LM_{10}, IO, Buss, SE_2\}$ .

- i) Bruk antallet i hvert av I/O-minnene som tilstandsvariable og lag tilstandsmodell av ruterarkitekturen i figur 2. Angi tilstandene hvor innkommende pakker til ruterblokk 1 blir avvist.

Tilstandsvariablen er  $i_1, i_2$  hvor  $i_1$  er antall i IO-minne 1 og  $i_2$  i IO-minne 2.

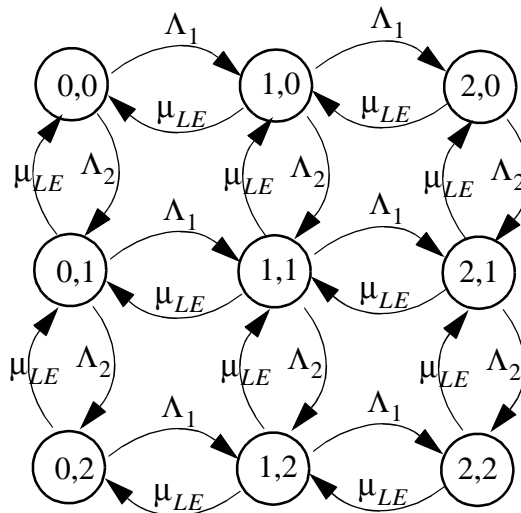
Ankomstintensiteten til IO-minne 1 er intensiteten av alle pakker som kommer inn til linjemodul 1 og skal ut på 1, og de som kommer inn til 2 og skal ut på 1:

$$\Lambda_1 = (1 - p) \sum_{i=1}^5 \lambda_i + p \sum_{i=6}^{10} \lambda_i \quad (11)$$

Tilsvarende for ankomstintensiteten til IO-minne 2:

$$\Lambda_2 = p \sum_{i=1}^5 \lambda_i + (1 - p) \sum_{i=6}^{10} \lambda_i \quad (12)$$

Tilstandsmodellen blir dermed:



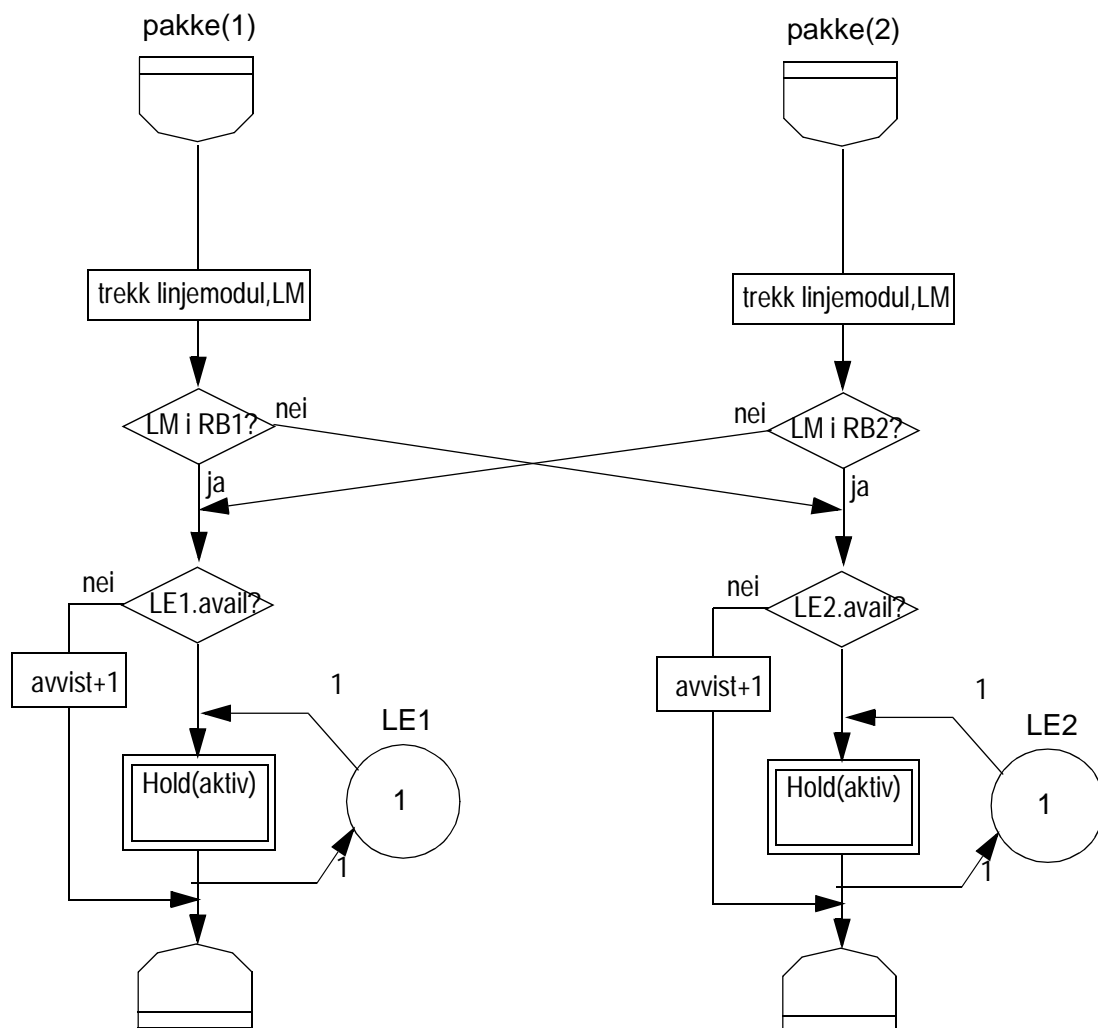
Spørsmålet om hvilke tilstander hvor innkommende pakker til ruterblokk 1 blir avvist er upresist og uheldig formulert. Feil på dette punktet rekker lite. Kandidater som har tydeliggjort sin tolkning og skissert en løsning i samsvar med dette har fått pluss.

Den enkleste fortolningen er avvisning av pakker som ankommer blokk 1 uavhengig av om de er innkommende eller utgående, dermed blir avvisningssannsynligheten

$$P_{B1} = p_{2,0} + p_{2,1} + p_{2,2} \quad (13)$$

- j) Diskuter om linjemodul, lokalenhet, buss, ruterblokk, sentralenhet, skal være entiteter eller ressurser, eller om de kan neglisjeres. Begrunn dine valg. Beskriv en simuleringsmodell for IP-ruteren i figur 2. Markér tydelig hvordan innsamling av statistikken som nevnt over kan gjøres, og foreslå DEMOS mekanismer som kan benyttes her.
- **Sentralenheten** : tas med som ressurs hvis ruterprotokollen og oppdatering av ruterinformasjonen i lokalenhetene skal inkluderes i modellen. Eller så neglisjeres denne. I løsningen angitt her er det utelatt og SE er derfor neglisjert.
  - **Buss** : tas med som ressurs hvis kopioperasjonen over bussen er antatt kritisk. Men i oppgaven er det gitt at buss ikke er flaskehals og den kan derfor neglisjeres.
  - **Linjemodul** : oppgitt i oppgaven at de ikke representerer ytelsesmessig flaskehals, kan derfor neglisjeres.
  - **Lokalenhet** : dette er en kritisk ressurs for hver pakke. De må ha tilgang til denne før pakkene kan videresendes ut fra ruteren. Modelleres som ressurs. (RES i DEMOS)
  - **IO-minne** : alle pakker må via denne. Det er endelig kapasitet og pakker kan derfor avvises. Minnet må inkluderes i modellen og et naturlig valg er å la denne være køen til lokalenhetsressursen (RES i DEMOS). Merk! Det må sjekkes eksplisitt på om køen er full når demos brukes ettersom det ikke er mulig å sette maksimal kø på denne. Det er også viktig at i systemet er det beskrevet at alle pakker ligger i minnet både under betjening og mens de venter på betjening. Derfor må man sjekke på makskøstørrelse-1.

- **IP-pakke** : følge pakke gjennom ruter. Modellerer denne som en entitet. Beskrivelsen følger under som aktivitetsdiagram.



- **Pakkegenerator** - egen entitet for å generere pakke-entiteter 1 og 2 er også nødvendig. (skrive noe mer om DEMOS mekanismer brukt, bla. til statistikkinnsamling).

- k) Beregn gjennomsnitt, varians til gjennomsnittet, og 95% konfidensintervall. Tabell 1 inneholder kvantiler i Student-t fordelingen. Hvilke antakelser har du gjort ved konstruksjon av konfidensintervallet? Kommentér beregnede konfidensgrenser.

Gjennomsnitt:  $\bar{X} = 24.00$

Varians:  $S^2 = 1498.95$

Varians til gjennomsnittet:  $S^2/N = 74.947$

Antar uavhengig, identisk fordelte observasjoner, og at  $\bar{X} \sim N(E(X), \sqrt{(Var(X))/n})$  (er normalfordelt)

Øvre 95% konfidensgrense:  $\varepsilon_u = \bar{X} + S/(\sqrt{n})2,093 = 42.1196$

Nedre 95% konfidensgrense:  $\varepsilon_n = \bar{X} - S/(\sqrt{n})2,093 = 5.8804$

Øvre grense er *utenfor* fysikalsk område. Maksimalt antall belagte pakker i IO-minnet er 30.