

- Tarkastellaan dataliikennettä pakettitasolla aikavälillä  $[0, T]$ , missä  $T = 20$  (aikayksikkönä  $\mu\text{s}$ ). Reitittimen ulostuloportille, joka hetkellä 0 on vapaana, saapuu paketteja ajanhetkillä: 1, 3, 4, 14 ja 15. Näiden pakettien lähetysajat ovat vastaavasti: 5, 5, 1, 2 ja 2. Paketit lähetetään saapumisjärjestyksessä. Yhtään pakettia ei menetetä.
  - Piirrä kuva, josta selviävät pakettien saapumishetket, kaikkien pakettien odotus- ja lähetysajat sekä systeemissä olevien pakettien lukumäärä eli liikenneprosessi ajan  $t$  funktiona,  $t \in [0, T]$ .
  - Mikä on keskimääräinen paketin odotusaika?
  - Entä keskimääräinen kokonaisviive (sisältäen sekä odotus- että lähetysajan)?
- Määrittele Erlang-malli, ja kirjoita kutsuesto mallin parametrien funktiona.
- Tarkastellaan tyyppiä M/M/2/2/2 olevaa liikenneteoreettista mallia, jossa yksittäinen asiakas on joutilaana keskimäärin ajan  $1/\nu$  ja palvelussa keskimäärin ajan  $1/\mu$ . Merkitään  $X(t)$ :llä systeemissä olevien asiakkaiden lukumäärää hetkellä  $t$ .
  - Piirrä Markov-prosessin  $X(t)$  tilasiirtymäkaavio.
  - Johda  $X(t)$ :n tasapainojakauma.
  - Mikä on tämän systeemin aikaesto (parametrien  $\nu$  ja  $\mu$  funktiona)?
  - Entä kutsuesto?
- Tarkastellaan kahden reitittimen välistä dataliikennettä (reitittimeltä R1 reitittimelle R2) pakettiverkossa. Liikenne muodostuu ko. linkille saapuvista paketeista, joiden keskimääräistä väliaikaa merkitään  $t$ :llä. Merkitään keskimääräistä paketin kokoa  $L$ :llä ja linkin kapasiteettia  $C$ :llä. Puskuri on erittäin suuri. Mallinna ko. järjestelmä M/M/1 jonomallilla, ja laske keskimääräinen paketin kokema viive (sisältäen sekä odotusajan että varsinaisen lähetysajan) siinä tapauksessa, että  $t = 18 \mu\text{s}$ ,  $L = 1500$  tavua ja  $C = 1$  Gbps.
- Tarkastellaan täysin kytkettyä 3 solmun verkkoa, ts. jokaista mahdollista solmuparia  $(n, m)$  yhdistää linkki  $n \rightarrow m$ . Linkkien kokonaislukumäärä on siis 6. Kaikkien linkkien kapasiteetti on 10 yksikköä. Verkkoa kuormittaa alla olevan liikennematriisin  $\mathbf{T}$  mukainen liikenne,

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 6 \\ 2 & 6 & 0 \end{pmatrix}.$$

Reititykseen käytetään lyhimmän polun algoritmia yhdistettynä ECMP-periaatteeseen.

- Piirrä verkon topologia. Montako polkua verkossa on?
- Laske linkkikuormat siinä tapauksessa, että kaikki linkkipainot ovat ykkösiä.
- Miten linkkipainoja pitäisi muuttaa, että linkkikuormien maksimi pieneneisi?