

Liikenneintensiteetti

$$a = \lambda \cdot T$$

missä

λ = kuljetettujen yhteyksien lukumäärä aikayksikössä (saapumisnopeus, kutsunopeus)

T = yhteyden keskimääräinen kesto eli pitoaika

- Liikenneintensiteetti on paljas luku, mutta asiayhteyden korostamiseksi sen ”yksiköksi” usein merkitään erlang (E, erl)
- A.K. Erlang (1878-1929) kehitti liikenneteoriaa puhelinliikenteen kuvaamiseen
- Liikenneintensiteetti kuvaa keskimäärin yhtäaikaan käynnissä olevien yhteyksien lukumäärää
- "Yhteyden" sijasta voidaan puhua minkä hyvänsä resurssin (johto, modeemi, kapasiteettiyksikkö) varaamisesta

Esimerkki

- Paikalliskeskuksessa puheluiden lukumäärä tunnissa on 1800
- Puhelun keskimääräinen pitoaika on 3 min

$$a = 1800 \times 3 / 60 = 90 \text{ erlang}$$

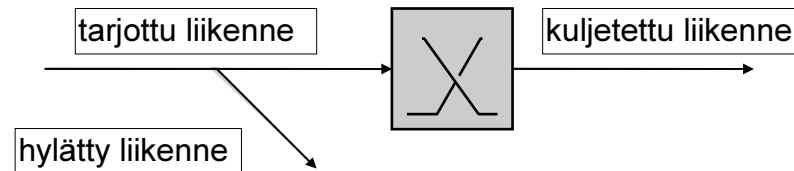
Eri lähteiden synnyttämiä tyypillisiä liikenneintensiteettejä ovat (aikaosuus jonka lähde on käytössä)

- | | |
|----------------------|--------------------|
| – yksityinen tilaaja | 0.01 - 0.04 erlang |
| – toimistotilaaja | 0.03 - 0.06 erlang |
| – matkapuhelin | 0.03 erlang |
| – PBX | 0.1 - 0.6 erlang |
| – maksupuhelin | 0.07 erlang |

90 erlangin liikenteen synnyttämiseen tarvitaan 2250 - 9000 yksityistilaaajaa.

Liikennevirrat

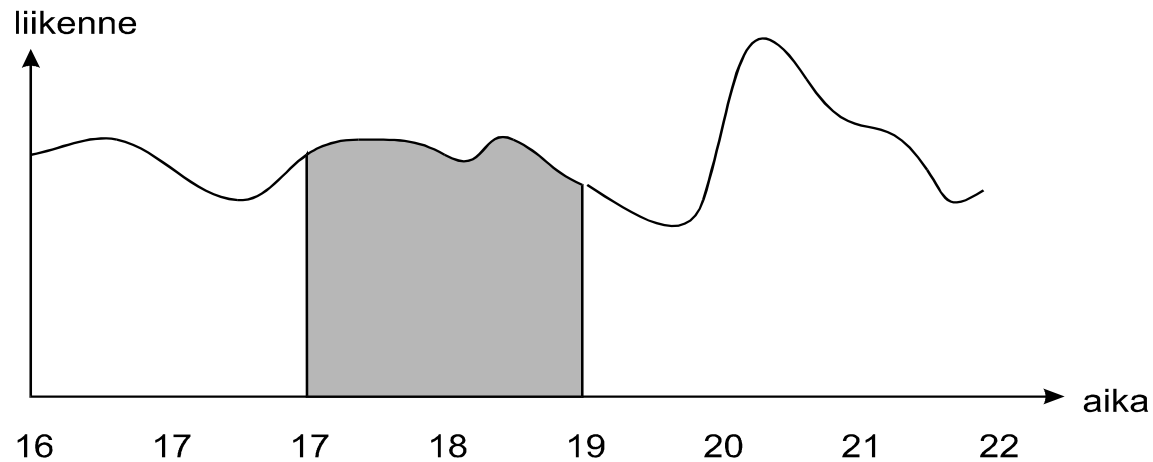
Liikenteessä erotetaan kolme komponenttia:



- Tarjottu liikenne a_0
 - liikenne, joka kuljetettaisiin, jos järjestelmä ei asettaisi mitään rajoituksia
 - teoreettinen käsite
- Kuljetettu liikenne a_c
 - todellisuudessa kuljetettu liikenne
- Menetetty liikenne a_1
 - tarjotun ja kuljetetun liikenteen erotus

Liikennemäärä

Tietyn ajanjakson aikana kuljetettu kokonaisliikenne on *liikennemäärä* *l. liikenteen volyymi*



- Liikennemäärän yksikkö on esim.
 - erlang · tunti
 - puheluminuutti
- Liikennemäärä jaettuna ajanjakson pituudella on keskimääräinen liikenneintensiteetti kyseisen ajanjakson sisällä

Liikenteen vaihtelut

Liikenne vaihtelee useissa eri aikaskaaloissa

- *trendikehitys* (> vuosi)
 - liikenteen määrän kasvu: käyttäjien määrä, käyttötottumusten muutokset
 - liikenne-ennusteet antavat lähtökohdan verkon suunnittelulle
- *kausivaihtelu* (kuukausia)
 - vuodenaikoihin liittyvät vaihtelut (lomakausien kuopat)
- *viikkorytmin vaihtelut* (päiviä)
 - eri viikonpäiviin liittyvät aktiviteettivaihtelut
- *päiväprofiili* (tunteja)
 - työpäivän kulkuun liittyvät vaihtelut
- *satunnaisvaihtelut* (sekunteja -- minuutteja)
 - toisistaan riippumattomien käyttäjien lukumäärän vaihtelut (Poisson-prosessi)
- Viimeksimainittu komponentti on puhtaasti *stokastinen*
- Muut vaihtelut noudattavat keskimäärin tiettyä *profiilia*, josta kuitenkin tapahtuu satunnaisia poikkeamia (jokainen päivä, viikko, kuukausi... on erilainen)

Liikenteen vaihtelut (jatkoa)¹

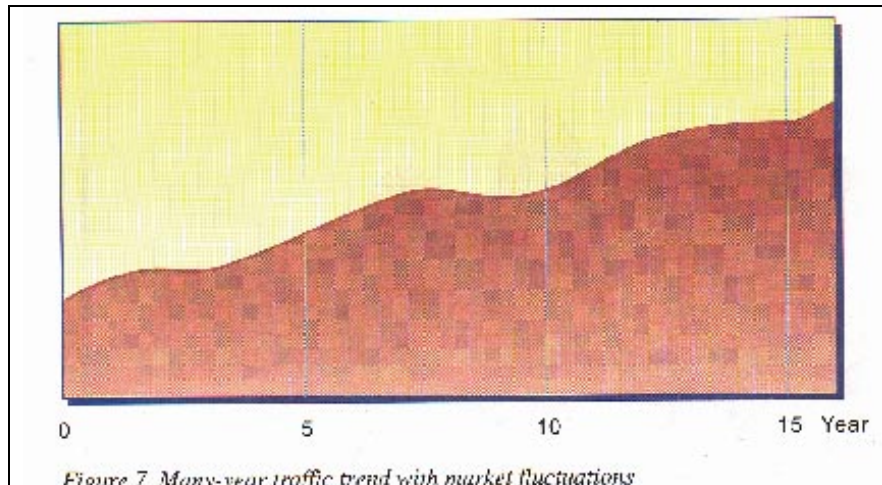


Figure 7 Many-year traffic trend with market fluctuations

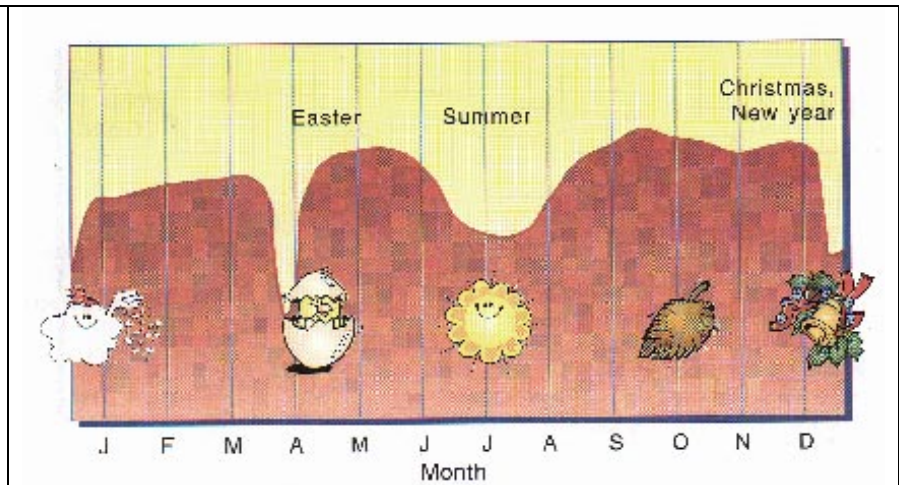


Figure 6 Typical busy hour variation over one year

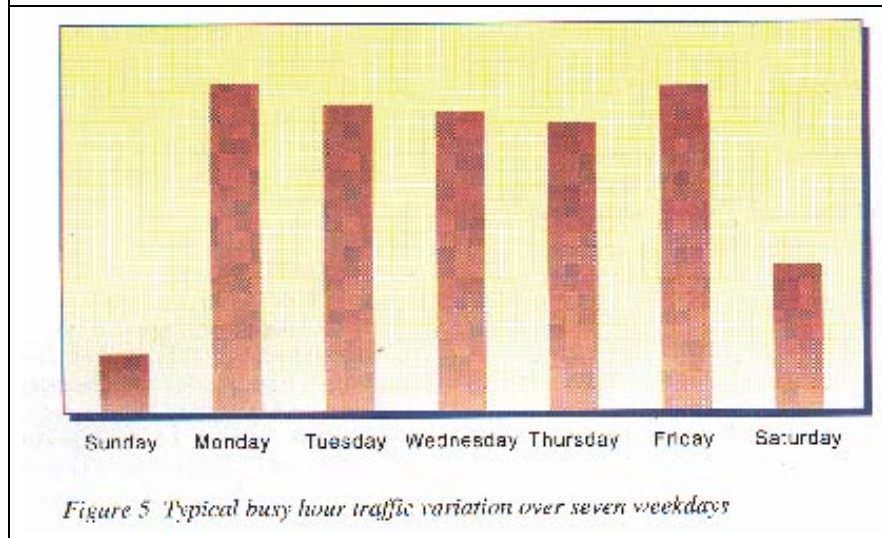


Figure 5 Typical busy hour traffic variation over seven weekdays

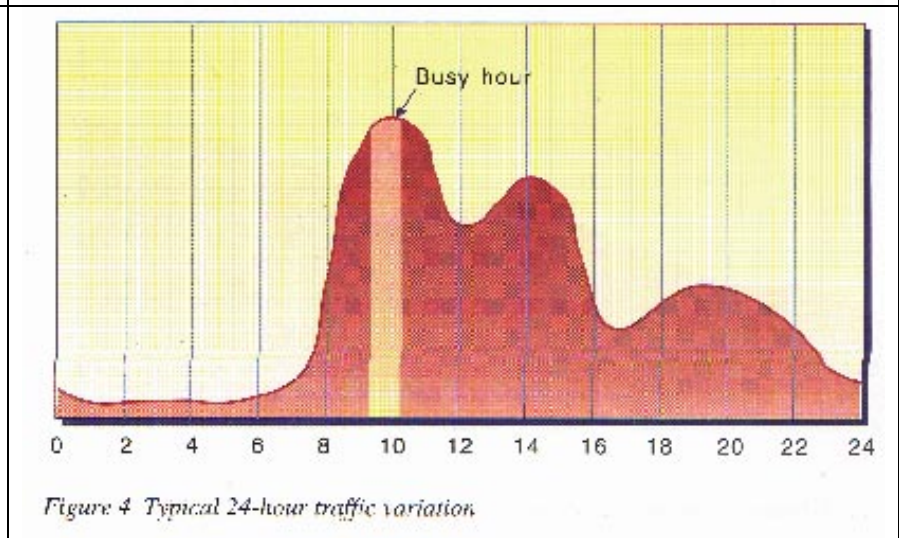


Figure 4 Typical 24-hour traffic variation

¹ From A. Myskja, *An introduction to teletraffic*, Teletronikk 2/3 (1995), pp 3-40

Liikenteen vaihtelut (jatkoa)

Suomessa mitattuja päiväprofileja

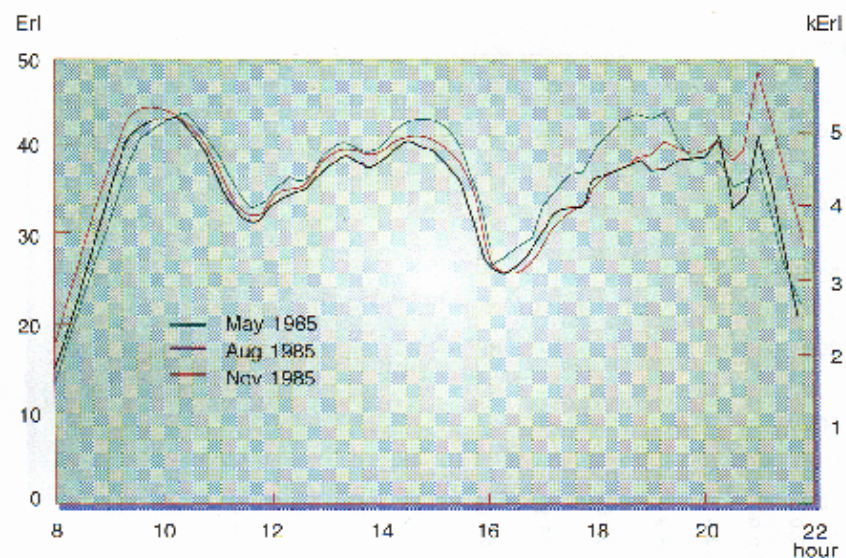
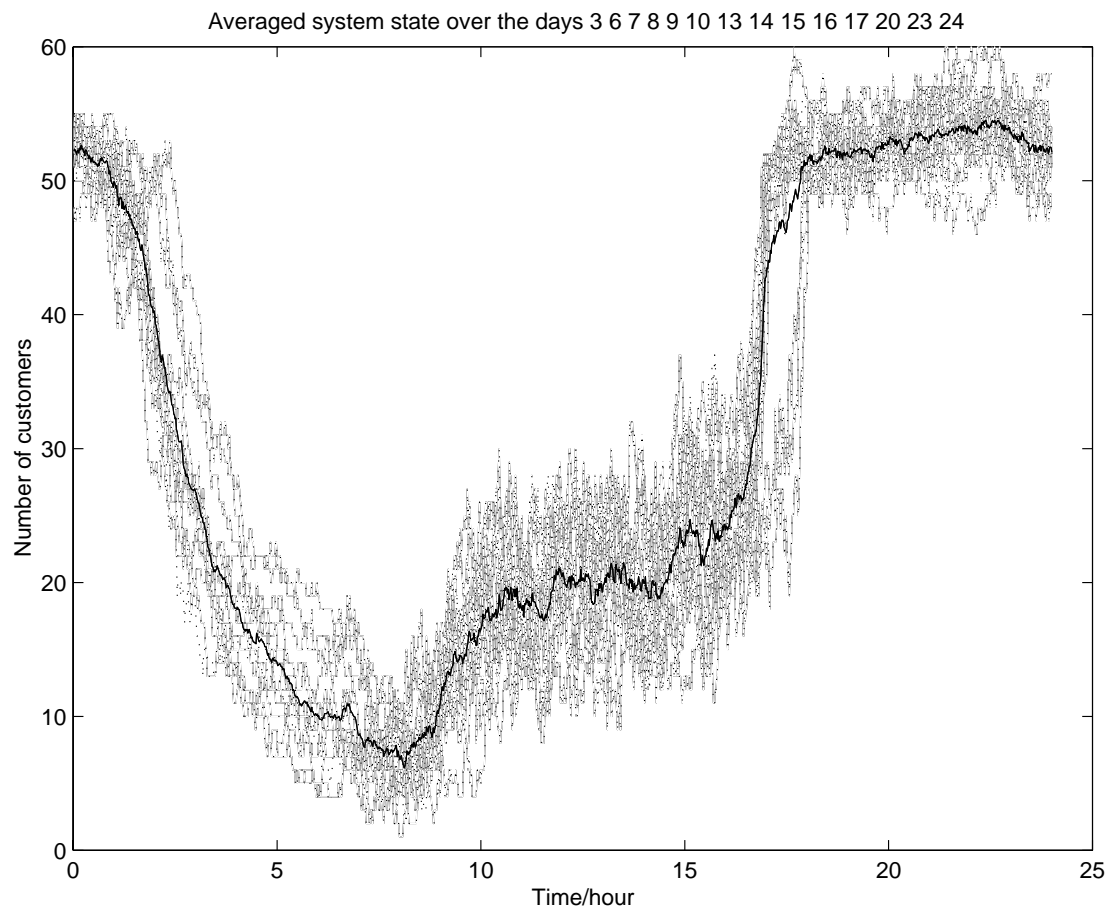


Figure 6 The daily traffic intensity profiles, the quarter-hours being averaged over ten consecutive working days, each as average of 115 circuit-groups [5]

Puhelinliikenteen päiväprofiilit v. 1985 kolmena eri kuukautena¹.



TKK:n opiskelijoiden modeemipoolin liikenne arkipäivinä lokakuussa 1997².

¹A. Parviala, *Observed traffic variations...*, *Elektronikk* 2/3 (1995), pp 69-78.

²J. Lakkakorpi, *Erikoistyö* (1998)

Liikenteen vaihtelut (jatkoa)

- Lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna kutsujen saapumisprosessia voi pitää Poisson-prosessina, jolla on tietty intensiteetti λ .
- Käyttäjien aktiviteetin vaihteluiden vuoksi intensiteetti λ ei ole vakio vaan riippuu ajasta

$$\lambda = \lambda(t)$$

- Stokastiikan terminologian mukaan kysymyksessä on
 - epähomogeeninen Poisson-prosessi
jos $\lambda(t)$ on deterministinen ajan funktio
 - kaksoisstokastinen Poisson-prosessi, jos $\lambda(t)$ itse muodostaa stokastisen prosessin
- Kummassakin tapauksessa Poisson-prosessin intensiteetti vaihtelee ajan funktiona: $\lambda(t)$
- Itse saapumiset tapahtuvat kyseisen Poisson-prosessin mukaisesti satunnaisina ajanhetkinä
 - todennäköisyys, että aikaväliin $(t, t+dt)$ osuu saapuminen on $\lambda(t) dt$

Liikenteen vaihtelut (jatkoa)

- Todellisuudessa $\lambda(t)$ on stokastinen prosessi
- Siinä on kuitenkin vahva deterministinen komponentti, joka liittyy tunnettuihin ennustettavissa oleviin vaihteluihin
 - säännöllinen päiväprofiili
 - säännöllinen viikkoprofiili
 - säännöllinen vuosiprofiili
 - trendikehitys
- Huom. Missään aikaskaalassa sana "säännöllinen" ei tarkoita täysin determinististä käyttäytymistä. $\lambda(t)$ fluktuoii keskimääräisen profiilin ympärillä.
- Lisäksi saapumisprosessissa voi olla jonkun ulkoisen tapahtuman aiheuttamia vaihteluita
 - ennustettavia / ei ennustettavia
 - säännönmukaisia / epäsäännöllisiä

Kiiretunti

- Verkon mitoittaminen suurimman milloinkaan esiintyvän liikennehuipun varalle ei ole tarkoituksenmukaista. Käytännön mitoitustehtäviä varten on haluttu kehittää laskennallinen liikennekuormaa kuvaava suure, joka kohtuullisessa määrin pyrkii esittämään huippukuormaa, mutta joka kuitenkin keskiarvoistaa yksittäiset liikennepiikit pois.

Se yhden tunnin pituinen jakso,
jona liikenteen volyyymi on suurin

- Liikenne huojuu satunnaisten tekijöiden vaikutuksesta jatkuvasti keskimääräisen käyttäytymisensä ympärillä
- Mitoitukseen sopivien keskimääräisten arvojen määrittämiseksi suosituksissa on määritetty kiiretunnin liikenteelle tietty mittaustapa
- Itse asiassa on useita eri kiiretunnin liikenteen määritelmiä (ITU E.600)
 - operaattorit käyttävät näistä itselleen sopivimmaksi katsomaansa

Kiiretunti (jatkoa)

- ADPH (Average Daily Peak Hour)
 - määrätään kullekin päivälle erikseen (mahdollisesti eri ajankohtiin sijoittuva) kiiretunti ja keskiarvoistetaan esim. 10 päivän yli
 - kiiretunnin sijoittumisen tarkkuutena voi olla joko täysi tunti (ADPH-F) tai neljännestunti (ADPH-Q)
- TCBH (Time Consistent Busy Hour)
 - joka päivä samaan kellonaikaan sijoittuva tunnin jakso, jona laskettu keskiarvo (esim. 10 päivän ajalta) on suurin
- FDMH (Fixed Daily Measurement Hour)
 - etukäteen valittuun mittausaikaan (esim. 9.30-10.30) perustuva mittaus, joka keskiarvoistetaan esim. 10 päivän ajalta

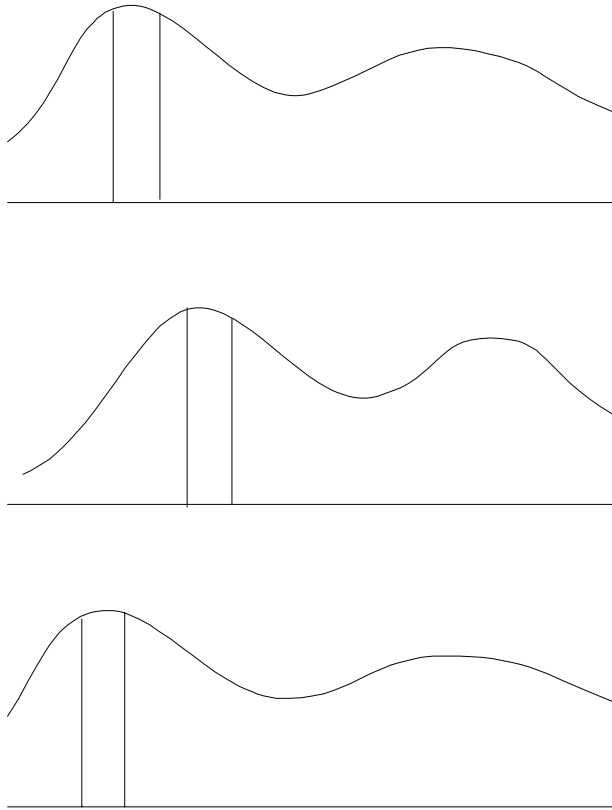
$$a_{\text{FDMH}} \leq a_{\text{TCBH}} \leq a_{\text{ADPH}}$$

Kiiretunti

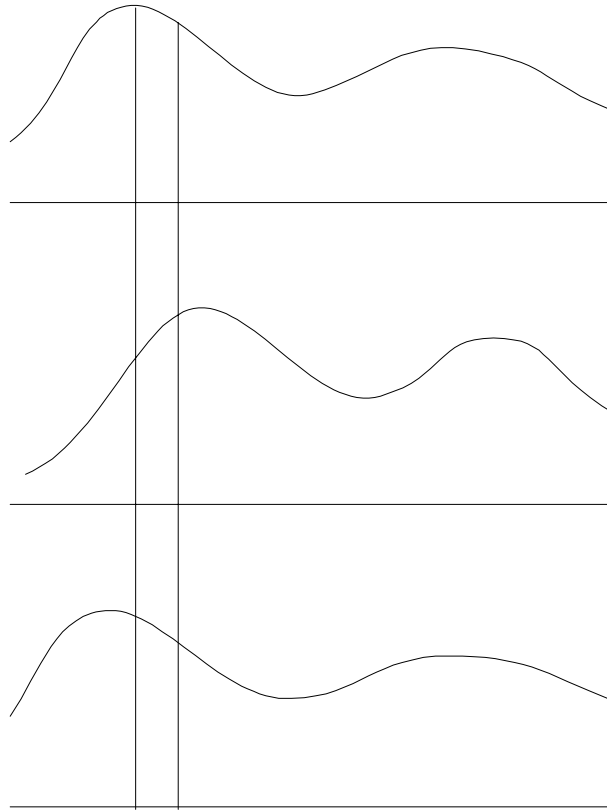
- Edelleen kiiretunnin määritelmät jaetaan käytetyn aikaresoluution mukaan, esim.
 - ADPH-F tunnin resoluutio (Full hour)
 - ADPH-Q neljännestantunnin resoluutio (Quarter hour)

$$a_{\text{ADPH-F}} \leq a_{\text{ADPH-Q}}$$

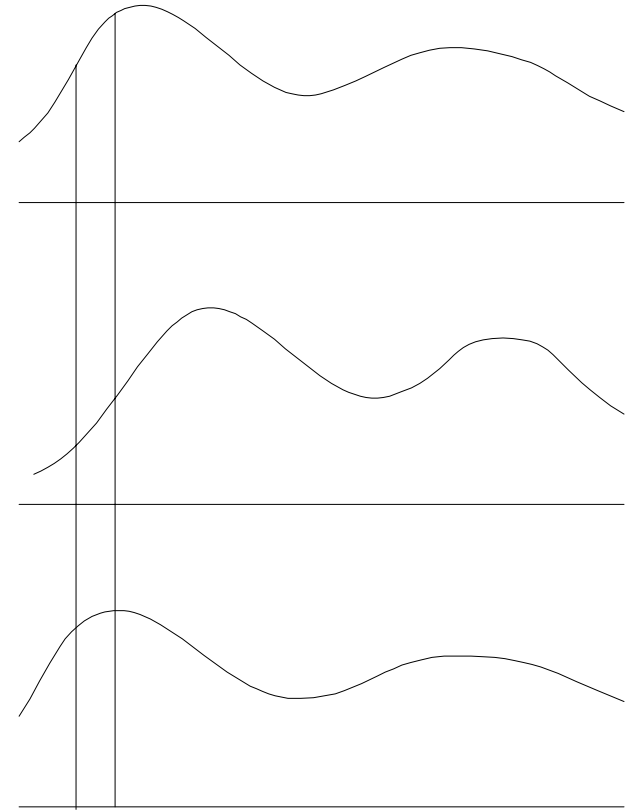
Kiiretunti



ADPH, Average Daily Peak Hour



TCBH, Time Consistent Busy Hour



fixed
FDMH, Fixed Daily Measurement hour



Palvelun laatu

- Verkkoa ei voi mitoitaa pahimpien yksittäisten liikennehuippujen mukaan: joskus esiintyy tilanteita, joissa haluttua palvelua ei saada tai palvelun laatu on heikentynyt
- Mitoitus tehdään palvelun laatutasolle asetetun (tilastollisen) tavoitteen mukaan
 - grade of service (GoS): yhteystason laatu (esim puhelinverkko)
 - quality of service (QoS): yhteydenaikainen laatu (esim. ATM-verkko)
- Puhelinverkossa puhelu, jota ei voida heti yhdistää
 - voi tulla kokonaan hylätyksi: menetysjärjestelmä
 - voi joutua odottamaan: odotusjärjestelmä
- GoS-vaatimus
 - menetysjärjestelmä: $P(\text{puhelu estyy}) < x \%$
 - odotusjärjestelmä: $P(\text{odotusaika} > z \text{ sekuntia}) < x \%$

Palvelun laatu (jatkoa)

- Menetysjärjestelmä
 - puhelun estyminen voi tyypillisesti tapahtua kiiretunnin aikana
 - tapahtuu tietyllä todennäköisyydellä, joka riippuu kiiretunnin liikenneintensiteetistä ja järjestelmän mitoituksesta Erlangin kaavan mukaan (ns. B-kaava)
 - verkon eri osissa tapahtuvien estojen todennäköisyydet voidaan likimäärin laskea yhteen päästä-päähän eston laskemiseksi
- Odotusjärjestelmä
 - jos puhelun yhdistäminen ei ole heti mahdollista, se jää odottamaan
 - lyhyellä odotusajalla ei ole merkitystä, käyttäjä sellaista tuskin huomaa
 - pitkät odotusajat ovat käyttäjän kannalta ei-toivottavia
 - odotusajalle asetetaan yläraja, jonka jälkeen kutsu hylätään
 - odotusjärjestelmän käyttäytymistä kuvaa ns. Erlangin C-kaava
- Epäonnistuneiden puheluiden uudelleensoittoyritykset

Palvelun laatu (jatkoa)

- Verkkoa ei kannata mitoitaa tarpeettoman pienelle estolle, koska yhteyksien muodostaminen saattaa epäonnistua muista syistä huomattavasti suuremmalla todennäköisyydellä:
 - B-tilaaja ei vastaa
 - B-tilaaja on varattu
 - on valittu väärä numero
- Usein estotodennäköisyydelle asetetaan yläraja 1 %

Palvelun laatu (jatkoa)

- Muissa kuin puhelinverkoissa, palvelun laatua kuvaavat monet muut suureet yhteyksien estotodennäköisyyden lisäksi (tai asemesta)
- ATM-verkossa ja pakettiverkoissa, esim. Internetissä, tärkeitä ovat
 - pakettien/solujen viiveet
 - viiveen vaihtelu
 - hukkuvien pakettien/solujen osuus
 - virheellisten pakettien/solujen osuus
 - läpäisy

Erlangin kaava

Oletukset

- Menetysjärjestelmä: estynyt puhelu menetetään lopullisesti (ei uusintayrityksiä)
- Järjestelmässä on n johtoa, mikä tahansa vapaa johto voidaan ottaa käyttöön
- Kutsujen saapumisprosessi on Poisson-prosessi
 - saapumisia tapahtuu tietyllä keskimääräisellä nopeudella λ
 - muuten ne tapahtuvat täysin satunnaisesti
 - on hyvä malli kutsuyritykselle suuresta riippumattomien käyttäjien joukosta
- liikenneintensiteetti $A = \lambda \cdot s$, missä s on keskimääräinen pitoaika

$$E(n, A) = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + A + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^n}{n!}}$$

Yhdistää järjestelmän (n), liikenteen (A) ja palvelun laadun (E)

Erlangin kaava (jatkoa)

Esimerkki

- Modeemipoolissa on neljä modeemia ja tarjottu liikenne on 2 erlangia.
Mikä on todennäköisyys, että yhteysyritys epäonnistuu?
 - Katsotaan käyrästöstä / tai taulukosta tai lasketaan suoraan kaavasta

$$E(4, 2) = \frac{\frac{2^4}{4!}}{1 + 2 + \frac{2^2}{2!} + \frac{2^3}{3!} + \frac{2^4}{4!}} \approx 9.5\%$$

- Mikä on esto, jos modeemien määrä nostetaan 6:een?

$$E(6, 2) = \frac{\frac{2^6}{6!}}{1 + 2 + \frac{2^2}{2!} + \frac{2^3}{3!} + \frac{2^4}{4!} + \frac{2^5}{5!} + \frac{2^6}{6!}} \approx 1.2\%$$

Erlangin kaava (jatkoa)

Estotodennäköisyydellä 1 % tarvittavien johtojen määrä eri liikenneintensiteeteillä:

A (erlang)	n	n / A
3	8	2.7
10	18	1.8
30	42	1.4
100	117	1.17
300	324	1.08
1000	1029	1.03

- Pienillä A:n arvoilla tarvitaan liikenneintensiteettiin nähden moninkertainen johtomäärä
 - kuormitusaste on pieni
- Suurilla A:n arvoilla Erlangin kaava ylimitoitusta ei tarvita
 - tällöin on kuitenkin tärkeää, että mitoituksen pohjana käytettävä A on arvioitu oikein

Aika- ja kutsuesto

Estossa erotetaan kaksi suuretta

- *Aikaesto*
 - aikaosuus, jona verkon tai sen osan resurssit kokonaan varattu
- *Kutsuesto*
 - estyvien yhteisyriyten osuus kaikista yrityksistä
- Yleensä nämä ovat kaksi eri asiaa
 - sovellutusten kannalta ollaan yleensä kiinnostuneita kutsuestosta; tämä määrittelee käyttäjien näkemän palvelun laadun
 - aikaesto on usein helpommin laskettavissa oleva suure
- Erlangin kaavan oletuksilla (Poisson-saapumiset) aikaesto ja kutsuesto ovat samat

Palvelun laatu (QoS) Internetissä

- Internetin kehityksen hot topic
- Nykyisessä Internetissä ainoa tarjottu palvelu on Best Effort -palvelu
 - ei taattua palvelun laatua
 - ei mahdollisuutta differentioida palvelua eri asiakkaiden (sovellusten) tarpeiden mukaan (ei myöskään hinnoittelun differentointia)
 - verkossa ei suoriteta resurssien varausta voille (flows)
 - luottaa TCP:n vuonohjaukseen, jossa lähteet havaitessaan verkon olevan ruuhkautunut vapaaehtoisesti pienentävä lähetysnopeuttaan

Internetin palveluarkkitehtuurit

- Integrated Services (IntServ)

- varauspohjainen lähestymistapa: kullekin vuolle varataan resursseja
- varausprotokolla RSVP (vastaanottajan initialisoima)
- guaranteed service, controlled load service ja best effort service
- pääsynvalvonta (admission control): jos palvelua ei kyetä tarjoamaan, varauspyyntö hylätään
- ns. soft state (varaukset puretaan ellei niitä uudisteta)
- edellyttää vuokohtaisen tilatiedon ylläpitoa; paljon työtä reitittimille
- tästä aiheutuu skaalautuvuusongelma
- soveltuu parhaiten access-verkko-osuuteen

Internetin palveluarkkitehtuurit (jatkoa)

- Differentiated Services (DiffServ)

- perustuu aggrgoitujen liikennevirtojen palvelun eriyttämiseen (ei yksittäisten voiden)
- liikenteen luokittelu ja merkitseminen tapahtuu reunareitittimissä (IP paketin TOS-kenttä)
- tähän mahdollisestii liittyy liikenteen mittaus, muokkaus ja valvonta
- asiakkaan ns. palveluprofiili määrittelee sallitun liikenteen
paketit luokitellaan: in-profile, out-of-profile (laatu taataan in-profile liikenteelle)
- eri aggrgaattivirtoja käsitellään eri tavoin verkon reitittimissä:
kaista- ja puskuriresurssien jako (ns. per hop behaviours)
- Expedited Forwarding (EF), Assured Forwarding (AF)
näiden sisällä paketeilla voi olla erilaisia hylkäysprioriteetteja
- ei tarvitse säilyttää vuokohtaista tilatietoa, ei signalointia
- monimutkaiset luokittelu- ym. operaatiot tapahtuvat vain reunareitittimissä
- soveltuu hyvin runkoverkkoon
- antaa ISP:ille keinon tarjota eritasoista palvelua asiakkaiden maksukyvyn ja -halukkuuden mukaan