



10. Verkon suunnittelu ja mitoitus

luento10.ppt

S-38.145 - Liikenneteorian perusteet - Kevät 2001

1

10. Verkon suunnittelu ja mitoitus

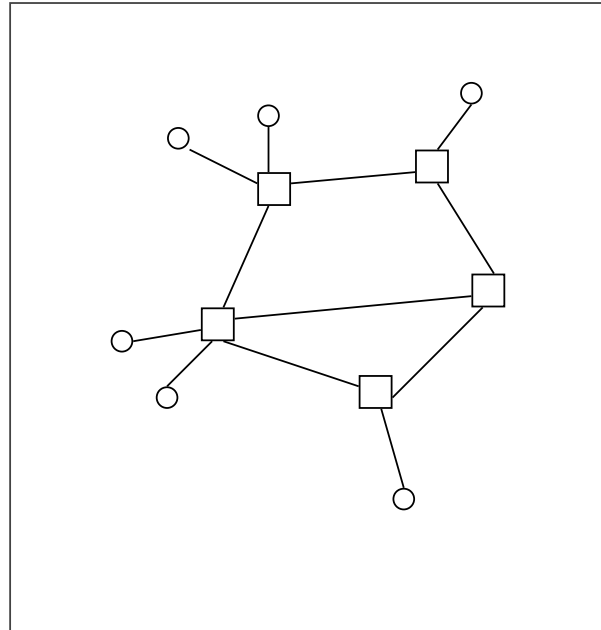
Sisältö

- Johdanto
- Verkon suunnittelu
- Liikenne-ennusteet
- Mitoitus

2

Tietoliikenneverkko

- Yksinkertainen tietoliikenneverkon malli koostuu
 - **solmuista** (node)
 - päätelaitteet ○
 - verkon solmut □
 - solmujen välisistä **linkeistä** (link)
- **Liityntäverkko** (access network)
 - päätelaitteita verkon (reunalla oleviin) solmuihin yhdistävä osa tietoliikenneverkosta
- **Runkoverkko** (trunk network)
 - verkon solmuja toisiinsa yhdistävä osa tietoliikenneverkosta



3

Miksi verkon suunnittelua ja mitoitusta?

- “The purpose of dimensioning of a telecommunications network is to ensure that

the expected needs will be met in an economical way

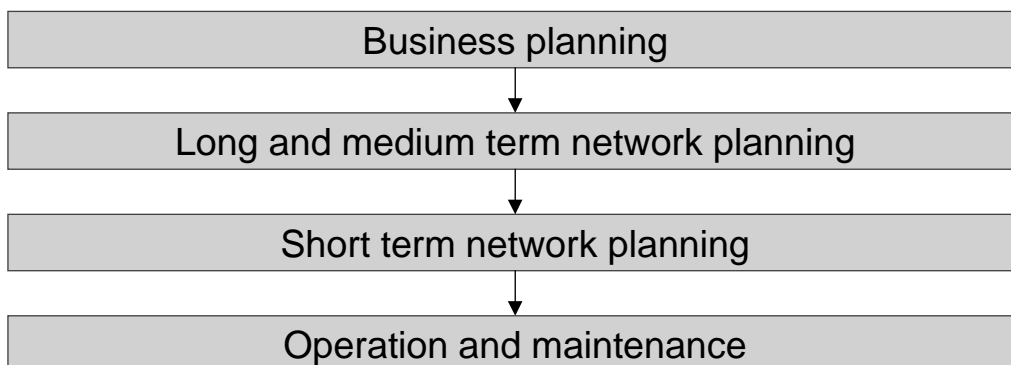
both for subscribers and operators.”

Sisältö

- Johdanto
- Verkon suunnittelu
- Liikenne-ennusteet
- Mitoitus

Verkon suunnittelu stabiilissa ympäristössä (1)

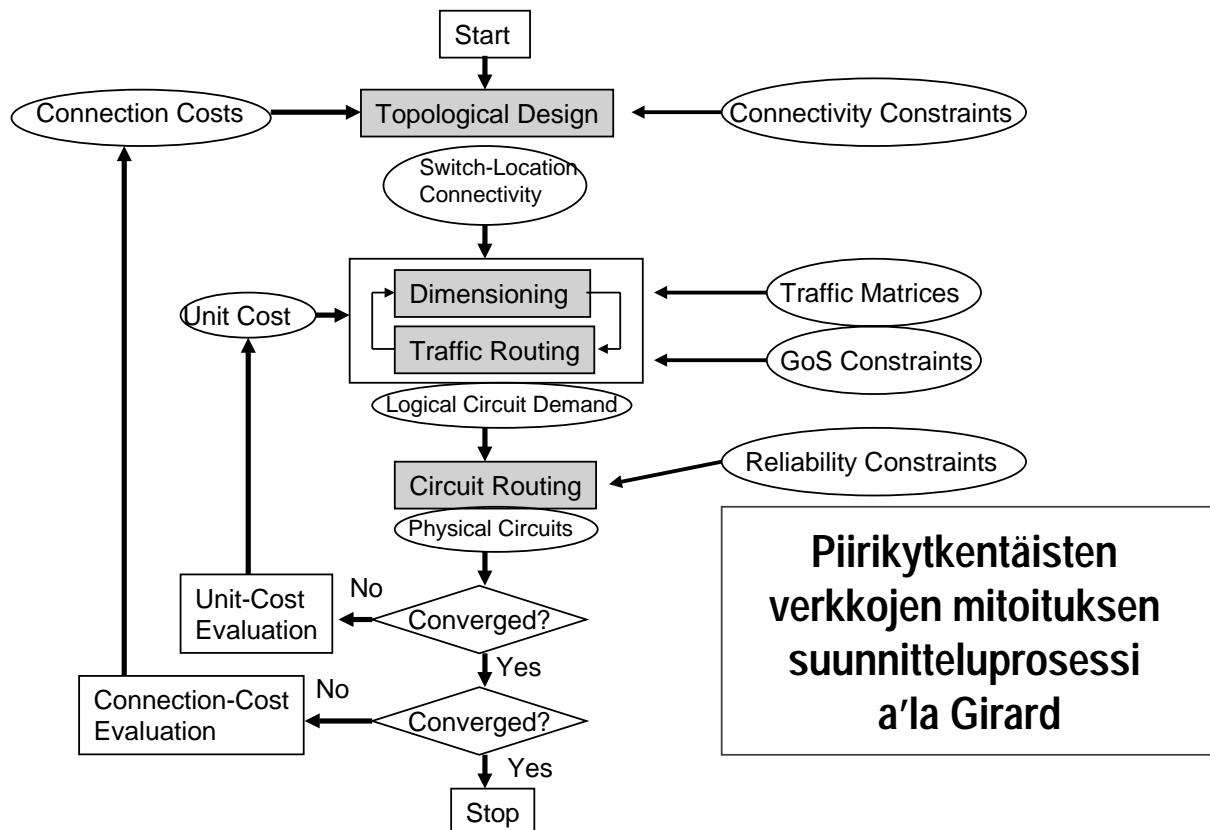
- Perinteinen suunnittelumalli:



Verkon suunnittelu stabiilissa ympäristössä (2)

- Liikenteellinen näkökulma
 - Tiedon keruu (nykyinen status)
 - liikennemittaukset
 - tilaajien määrät ja alueellinen jakauma
 - Ennustus
 - palveluskenaariot
 - liikennemäärät ja -profiilit
- Taloudellinen näkökulma
- Teknillinen näkökulma
- Verkon optimointi ja mitoitus
 - hierarkkinen rakenne ja topologia
 - liikenteen reititys ja mitoitus
 - circuit routing

7



Verkon suunnittelu turbulentissa ympäristössä (1)

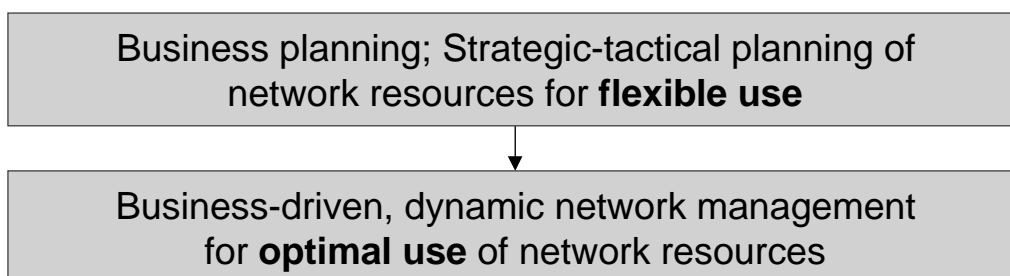
- Päätöksiin vaikuttavat (uudet) tekijät:
 - Markkinat
 - kilpailu!
 - operaattorin tuleva rooli (niche): valta-asema/yhteistoiminta
 - Asiakkaiden tarpeet:
 - uudet palvelut: Internet & matkaviestimet (ennen kaikkea)
 - uudet liiketoimintamahdollisuudet
 - Teknologia:
 - uudet teknologiat: ATM, xDSL, GSM, CDMA, WDM,...
 - Standardit:
 - uusia standardeja ilmestyy jatkuvasti
 - Verkon suunnittelun ja operoinnin tuki:
 - uudet tietokoneavusteiset menetelmät
 - Kustannukset:
 - trendit: laitekustannukset alaspäin, henkilöstökustannukset ylöspäin

Lähde: [1]

9

Verkon suunnittelu turbulentissa ympäristössä (2)

- Operaattorin suojauskeinot:
 - Avoin, yleiskäyttöisille alustoille (platform) perustuva verkkoarkkitehtuuri
 - Marginaalikustannuksiltaan alhaisten verkon geneeristen osien ylimitoitus (redundancy)
- Uusi suunnittelumalli:



Lähde: [1]

10

Sisältö

- Johdanto
- Verkon suunnittelu
- Liikenne-ennusteet
- Mitoitus

Liikennemittausten ja -ennusteiden tarve

- Jotta verkon mitoitus olisi mahdollista, pitää olla jonkinlainen

käsitys/arvio verkolle tarjottavasta liikenteestä

- Jos kyseessä on jo olemassa oleva ja toimiva verkko,
 - liikennettä voidaan tietysti arvioida tekemällä **(liikenne)mittauksia**
- Muutoin arvio täytyy perustaa muuhun käytettävissä olevaan tietoon kuten esim. arvioihin
 - tilaajien lkm:stä ja
 - yksittäisen tilaajan generoimasta ominaisliikenteestä
- Verkkoon tehtävien investointien pitkä aikajänne ⇒
 - pelkästään nykyisen liikenteen arviointi ei riitä
 - tarvitaan myös **(liikenne)ennusteita** tulevista liikennemääristä

Liikenteen ennustaminen

- Tietoa tulevista tarpeista
 - arvio kehityksen kulkusuunnasta tulevaisuudessa
- Tarkoitus
 - luoda perusta verkkoon liittyville investointipäätöksille
- Ennustejaksot
 - aikanäkökulma tärkeä (ennusteen luotettavuuden kannalta)
 - tarve eripituisiin ennustejaksoihin

Lähde: [1]

13

Liikenne-ennuste

- Liikenne-ennuste kertoo
 - arvioidun verkon liikenteen kasvun suunnittelujakson aikana
- Lähtökohta:
 - nykyinen liikenteen määrä ns. kiiretunnin aikana (mitattu/arvioitu)
- Muut asiaan vaikuttavat tekijät:
 - muutokset tilaajien lkm:ssä
 - muutokset tilaajien generoimassa ominaisliikenteessä
- Lopputulos (so. ennuste):
 - **liikennematriisi** (traffic matrix), joka kertoo keskusten välisen **liikennetarpeen** (traffic interest)

14

Liikennematriisi

- Liikennematriisi $T = (T(i,j))$
 - kuvaa keskusten välisen liikennetarpeen
 - N^2 elementtiä ($N =$ keskusten lkm)
 - elementti $T(i,i)$ on arvio keskuksen i sisäiselle liikenteelle (erlangeina)
 - elementti $T(i,j)$ on arvio keskukselta i keskukseseen j suuntautuvalla liikenteelle (erlangeina)
- Ongelma:
 - liikennematriisi kasvaa helposti liian suureksi:
600 keskusta \Rightarrow 360,000 elementtiä!
- Ratkaisu: hierarkkinen esitys
 - ylätaso: (laajempien) liikennealueiden välinen liikenne
 - alataso: keskusten välinen liikennetarve liikennealueen sisällä

15

Esimerkki (1)

- **Oletukset:**
 - Paikalliskeskuksen alueella on 1000 yksityistilaajaa ja 10 yritystilaajaa (PBX)
 - Yksittäisen yksityistilaajan ominaisliikenteeksi on arvioitu 0.025 erlangia ja yksittäisen yrityksen ominaisliikenteeksi 0.200 erlangia
- **Kysymykset:**
 - Mikä on näiden tilaajien yhdessä generoima liikenneintensiteetti a ?
 - Mikä on uusien kutsujen saapumisintensiteetti, jos oletetaan, että keskimääräinen pitoaika on 3 minuttia?
- **Vastaukset:**
 - $a = 1000 * 0.025 + 10 * 0.200 = 25 + 2 = 27$ erlangia
 - $h = 3$ min
 - $\lambda = a/h = 27/3$ kutsua/min = **9 kutsua/min**

16

Esimerkki (2)

- **Oletukset:**
 - Viiden vuoden ennustejaksolla uusien tilaajien lkm:n arvioidaan kasvavan lineaarisesti nopeudella 100 tilaajaa/vuosi
 - Yksittäisen tilaajan ominaisliikenteen arvioidaan kasvavan arvoon 0.040 erlangia
 - Yritystilaajien lkm:n arvioidaan kasvavan ennustejakson aikana 20:een
- **Kysymys:**
 - Mikä on liikenneintensiteetti a ennustejakson lopussa?
- **Vastaus:**
 - $a = (1000 + 5 \cdot 100) \cdot 0.040 + 20 \cdot 0.200 = 60 + 4 = \mathbf{64}$ erlangia

17

Esimerkki (3)

- **Oletukset:**
 - Tarkastellaan pientä verkkoa, joka koostuu kolmesta tällaisesta keskuksesta
 - Oletetaan, että puolet paikalliskeskusten liikenteestä on sisäistä liikennettä ja puolet suuntautuu muihin keskuksiin
- **Tehtävä:**
 - Konstruoi liikennematriisi T , joka kuvaa keskusten välistä liikennettä ennustejakson lopussa.
- **Vastaus:**
 - $T(i,i) = 64/2 = 32$ erlangia
 - $T(i,j) = 64/4 = 16$ erlangia

alue	1	2	3	summa
1	32	16	16	64
2	16	32	16	64
3	16	16	32	64
summa	64	64	64	192

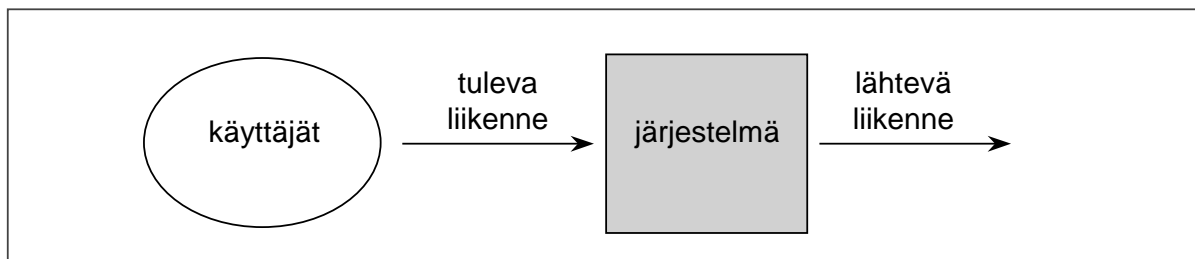
18

Sisältö

- Johdanto
- Verkon suunnittelu
- Liikenne-ennusteet
- Mitoitus

Mitoitus (1)

- Tietoliikennejärjestelmä liikenteellisestä näkökulmasta:



- Mitoituksen perustehtävä:

Määrää järjestelmän (minimi)kapasiteetti,
joka takaa halutun palvelun laadun
annetulla liikenteellä

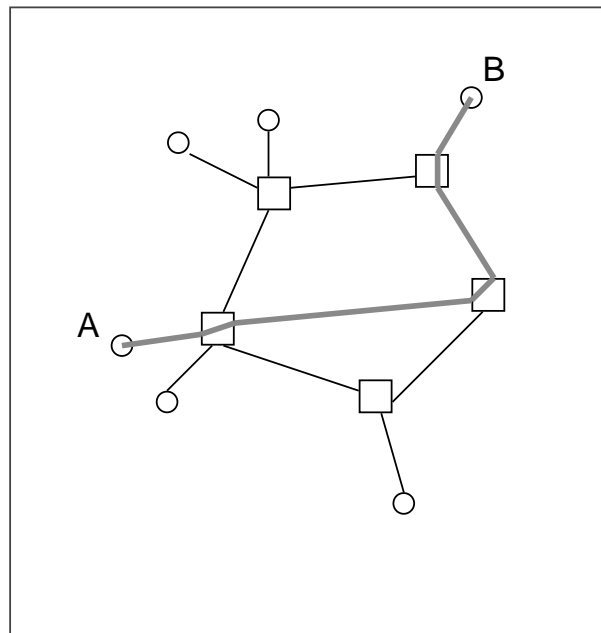
Mitoitus (2)

- Havainto:
 - Liikenne vaihtelee ajan myötä (ja eri aikaskaaloissa)
- Yleissäntö:
 - Jotta systeemi toimisi hyväksyttävästi myös ruuhka-aikoina, mitoituksen tulee perustua (jollakin järkevällä tavalla) liikenteen huippuihin (eikä siis keskimääräiseen liikenteeseen)
- Kuitenkin:
 - Verkon tuottamat tulot taas riippuvat nimenomaan keskimääräisestä (eikä siis huippu-) liikenteestä.
- Puhelinverkkojen mitoituksessa liikenteen huippu määritellään ns. kiiretunnin avulla:

Kiiretunti \approx se yhden tunnin pituinen jakso, jona liikenteen määrä on suurin

Puhelinverkko

- Yksinkertainen puhelinverkon malli koostuu
 - verkon solmuista (keskukset)
 - solmujen välisistä linkeistä
- Liikenne muodostuu kutsuista (puheluista), jotka varaavat yhden kanavan per linkki.
- Kutsun kaksi vaihetta:
 - ensin on muodostettava yhteys verkon läpi lähteestä kohteeseen (**yhteydenmuodostusvaihe**)
 - vasta sen jälkeen voi varsinainen tiedonsiirto alkaa (**tiedonsiirtovaihe**)



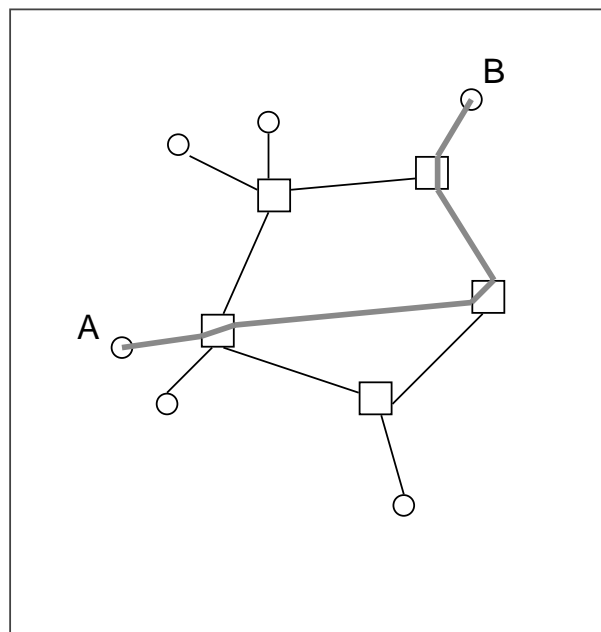
Kaksi liikenneprosessia

- **Yhteydenmuodostukseen liittyvä liikenneprosessi**
 - verkon solmuissa
 - yhteydenmuodostuksen aikana kutsu kilpailee muiden yhteyttä vasta muodostavien kutsujen kanssa reitillään olevien verkon solmujen prosessointikapasiteetista (jonotusperiaatteella)
 - tyypillisesti tähän kuluva aika voidaan laskea **sekunneissa** (josta ajasta varsinaiseen prosessointiin kuluu ehkä joitakin kymmeniä tai satoja millisekunteja)
- **Tiedonsiirtoon liittyvä liikenneprosessi**
 - linkeillä
 - varsinaisen tiedonsiirron aikana kutsulle on varattu kanava kultakin linkiltä sen reitin varrelta
 - perinteisesti puhelujen kestot ovat olleet joitakin **minuutteja**
- **Huom.** Eri prosessien **aikaskaalojen** erilaisuus

23

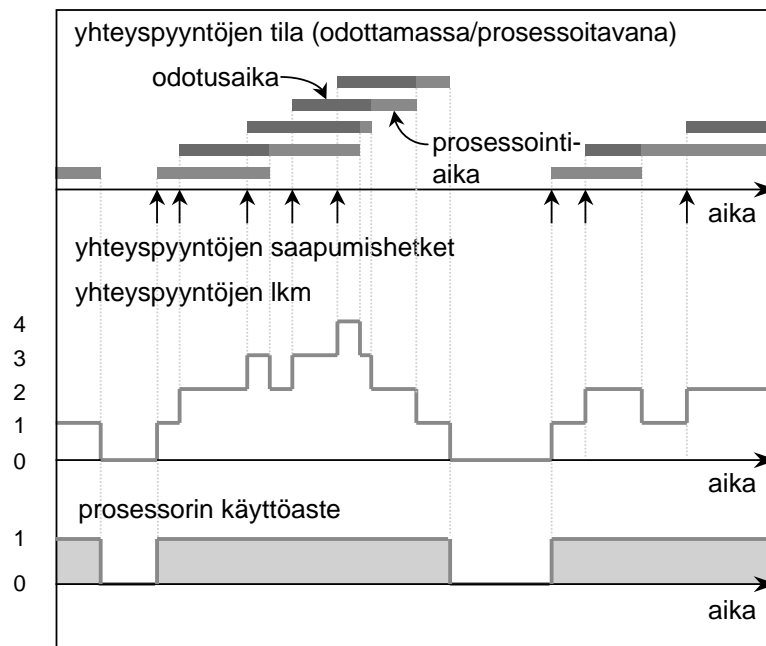
Yksinkertaistettu puhelinverkon mitoitus

- Oletetaan
 - kiinteä topologia ja reititys
 - annettu liikennematriisi
 - annettu palvelun laatuvaatimus
- **Verkon solmujen mitoitus:**
Laske kullekin solmulle vaadittava **kutsujen käsittelynopeus**
 - max. lkm yhteydenmuodostuksia per aikayksikkö
- **Linkkien mitoitus:**
Laske kullekin linkille vaadittava **kanavien lkm**
 - max. lkm käynnissä olevia puheluita



24

Yhteydenmuodostukseen liittyvä liikenneprosessi (1)



25

Yhteydenmuodostukseen liittyvä liikenneprosessi (2)

- Oletetaan, että uusia yhteyspyyntöjä saapuu
 - Poisson-prosessin mukaisesti intensiteetillä λ
- Oletetaan lisäksi, että yhteyspyyntöjen käsittelyajat eri solmuissa ovat
 - riippumattomia ja samoin jakautuneita (IID) noudattaen eksponenttijakaumaa odotusarvonaan s
 - tyypillisesti s on luokkaa **kymmeniä millisekunteja**
 - s on pikemmin **järjestelmää** (kuin liikennettä) **kuvaava parametri**
- Oletetaan vielä, että jokaisessa solmussa yhteyspyynnön käsittelystä huolehtii
 - yksittäinen prosessori, jolla on käytävissä ääretön puskuri (jossa yhteyspyynnöt odottavat käsittelyyn pääsyä)
 - $1/s$ kertoo kutsujen käsittelynopeuden
- Näillä oletuksilla kyseinen liikennemalli on
 - **M/M/1 jonomalli** kuormanaan $\rho = \lambda s$

26

Yhteydenmuodostukseen liittyvä liikenneprosessi (3)

- Puhdas jonotusjärjestelmä \Rightarrow

Palvelun laadun mittana on esim. **keskimääräinen odotusaika** $E[W]$

- Keskim. odotusajan $E[W]$ kaava M/M/1 jonossa (olettaen, että $\rho < 1$):

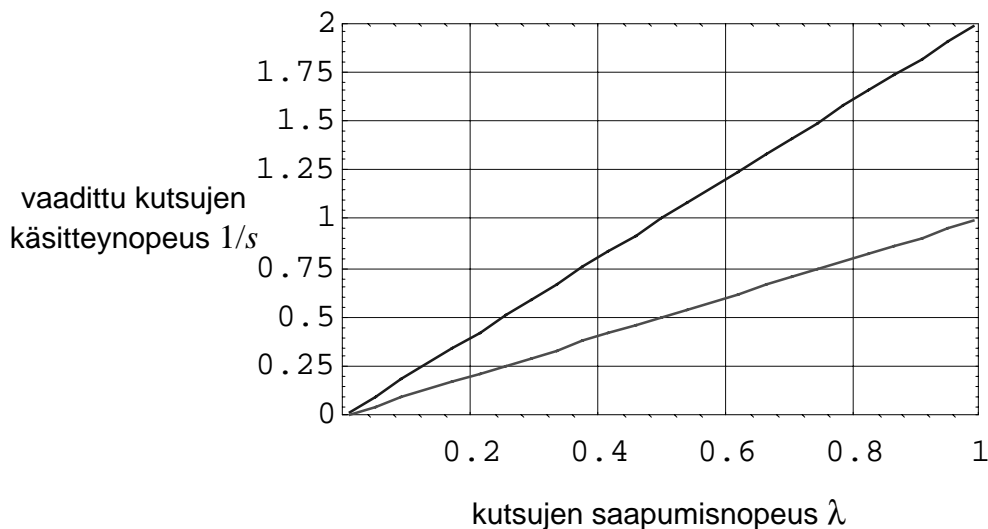
$$E[W] = s \cdot \frac{\rho}{1-\rho}$$

- $\rho = \lambda s$
- **Huom.** $E[W]$ kasvaa äärettömyyksiin, kun kuorma ρ lähestyy 1:stä

27

Mitoituskäyrä

- Palvelun laatuvaatimus (esimerkiksi): $E[W] \leq s$
 \Rightarrow sallittu kuorma $\rho \leq 0.5 = 50\% \Rightarrow \lambda s \leq 0.5$
 \Rightarrow vaadittu kutsujen käsittelynopeus $1/s \geq 2\lambda$



28

Mitoitussääntöjä

- Jotta vaadittu palvelun laatuvaatimus (so. yhteyspyynnön keskimääräinen odotusaika per solmu on korkeintaan keskimääräisen prosessointiajan suuruinen) saavutetaan ...

... liikenteen aiheuttaman kuorman pitää olla alle 50%

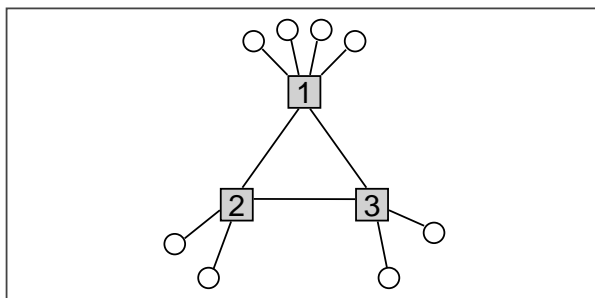
- Vaikka tyytyisit heikompaankin palvelun laatuun, älä silti koskaan unohda **turvamarginaalia**, so. ...

... älä anna liikenteen aiheuttaman kuorman lähestyä 100%:a

- Muuten räjähtää!

29

Esimerkki (1)

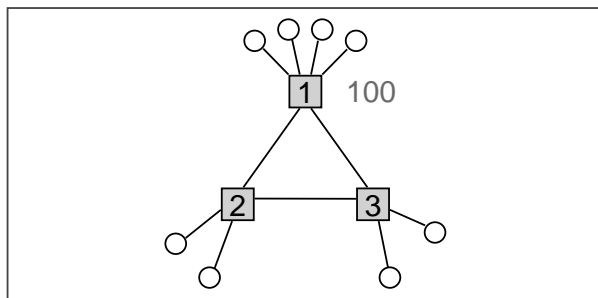


- Oletukset:**
 - 3 paikalliskeskusta, jotka kytketty täydellisesti toisiinsa
 - liikennematriisi T annettu ohessa
 - kiinteä (suora) reititys: kutsuille valitaan lyhyin polku
 - keskim. pitoaika $h = 3$ min
- Tehtävä:**
 - Laske kullekin solmulle laatuvaatimuksen $\rho \leq 50\%$ täyttävä kutsujen käsittelynopeus

alue	1	2	3	summa
1	60	15	15	90
2	30	30	15	75
3	30	15	30	75
summa	120	60	60	240

30

Esimerkki (2)



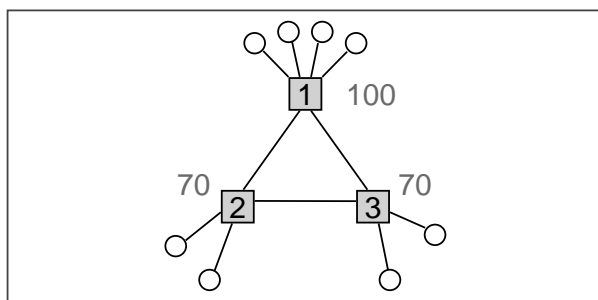
alue	1	2	3	summa
1	60	15	15	90
2	30	30	15	75
3	30	15	30	75
summa	120	60	60	240

• Solmu 1:

- yhteyspyyntöjä omalta alueelta:
 $[T(1,1) + T(1,2) + T(1,3)]/h$
 $= 90/3 = 30$ kutsua/min
- yhteyspyyntöjä alueelta 2:
 $T(2,1)/h = 30/3 = 10$ kutsua/min
- yhteyspyyntöjä alueelta 3:
 $T(3,1)/h = 30/3 = 10$ kutsua/min
- yhteyspyyntöjä kaiken kaikkiaan:
 $\lambda(1) = 30 + 10 + 10 =$
 50 kutsua/min
- vaadittu kutsujen käsittelynopeus:
 $\rho(1) = \lambda(1)/\mu(1) = 0.5 \Rightarrow$
 $\mu(1) \geq 2 * \lambda(1) = \mathbf{100}$ kutsua/min

31

Esimerkki (3)



alue	1	2	3	summa
1	60	15	15	90
2	30	30	15	75
3	30	15	30	75
summa	120	60	60	240

• Solmu 2:

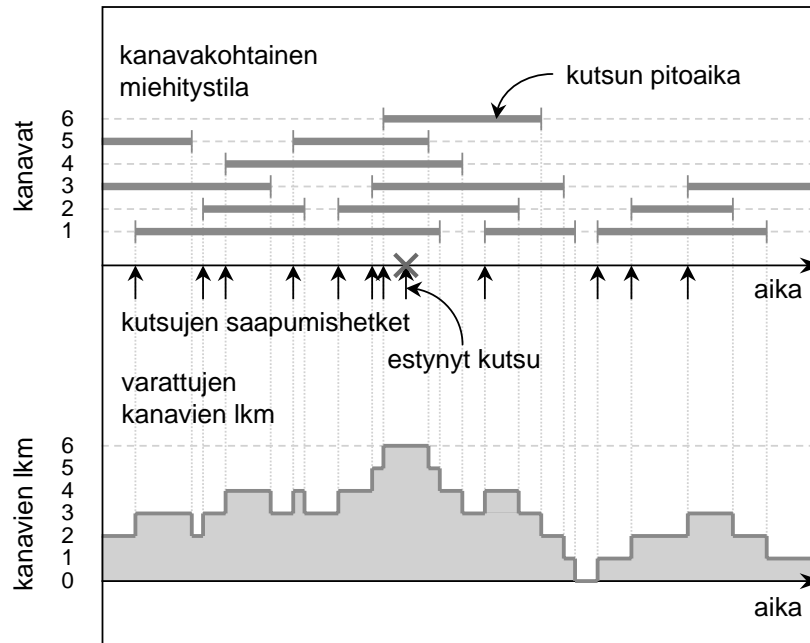
- yhteyspyyntöjä kaiken kaikkiaan:
 $\lambda(2) = [T(2,1) + T(2,2) + T(2,3)$
 $+ T(1,2) + T(3,2)]/h$
 $= (75+15+15)/3 = 35$ kutsua/min
- vaadittu kutsujen käsittelynopeus:
 $\mu(2) \geq 2 * \lambda(2) = \mathbf{70}$ kutsua/min

• Solmu 3:

- yhteyspyyntöjä kaiken kaikkiaan:
 $\lambda(3) = [T(3,1) + T(3,2) + T(3,3)$
 $+ T(1,3) + T(2,3)]/h$
 $= (75+15+15)/3 = 35$ kutsua/min
- vaadittu kutsujen käsittelynopeus :
 $\mu(3) \geq 2 * \lambda(3) = \mathbf{70}$ kutsua/min

32

Tiedonsiirtoon liittyvä liikenneprosessi (1)



33

Tiedonsiirtoon liittyvä liikenneprosessi (2)

- Edellä on jo oletettu, että uusia yhteyspyyntöjä saapuu
 - Poisson-prosessin mukaisesti intensiteetillä λ
- Oletetaan lisäksi, että kutsujen pitoajat (so. varsinaisen tiedonsiirron kestoajat) ovat
 - riippumattomia ja samoin jakautuneita (IID) odotusarvonaan h
 - tyypillisesti h on luokkaa **minuutteja** (eikä millisekunteja kuten s)
 - h on pikemmin **liikennettä** (kuin järjestelmää) **kuvaava parametri**
- Näillä oletuksilla kyseinen liikennemalli on
 - **M/G/n/n estomalli** (so. Erlang-malli) liikenneintensiteettinä $a = \lambda h$

34

Tiedonsiirtoon liittyvä liikenneprosessi (3)

- Puhdas menetysjärjestelmä \Rightarrow

Palvelun laadun mittana on esim. **kutsuesto** B

- Erlangin kaava kutsuestolle B :

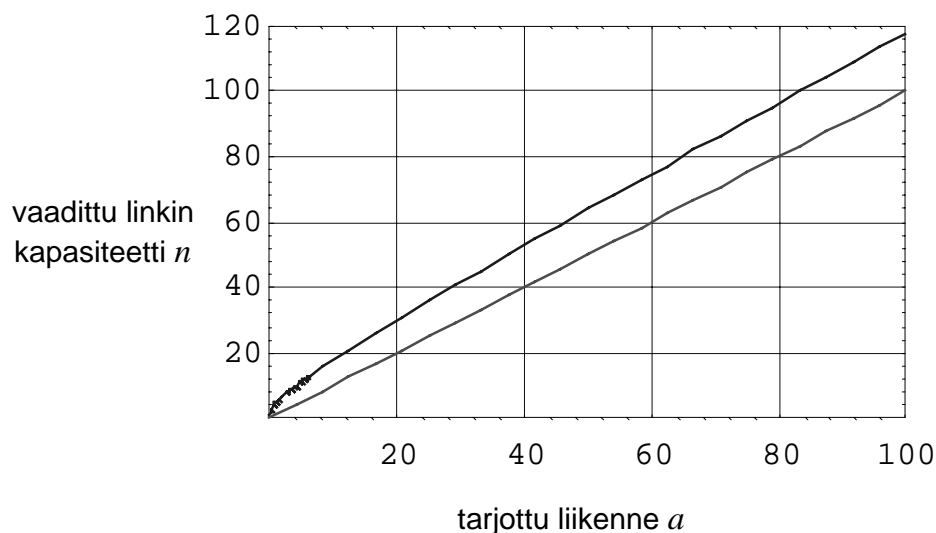
$$B = \text{Erl}(n, a) = \frac{\frac{a^n}{n!}}{\sum_{i=0}^n \frac{a^i}{i!}}$$

- $a = \lambda h$
- $n! = n(n-1)(n-2) \dots 1$

35

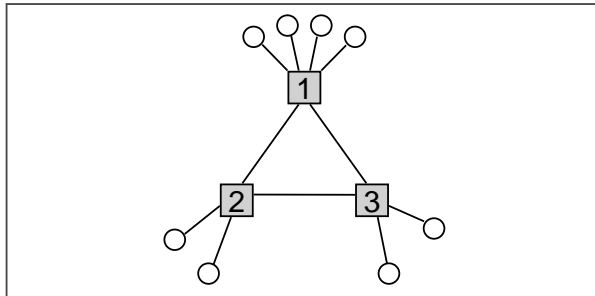
Mitoituskäyrä

- Palvelun laatuvaatimus (esimerkiksi): $B \leq 1\%$
 \Rightarrow vaadittu linkin kapasiteetti: $n \geq \min\{i = 1, 2, \dots \mid \text{Erl}(i, a) \leq B\}$



36

Esimerkki (1)



alue	1	2	3	summa
1	60	15	15	90
2	30	30	15	75
3	30	15	30	75
summa	120	60	60	240

- Oletukset:**

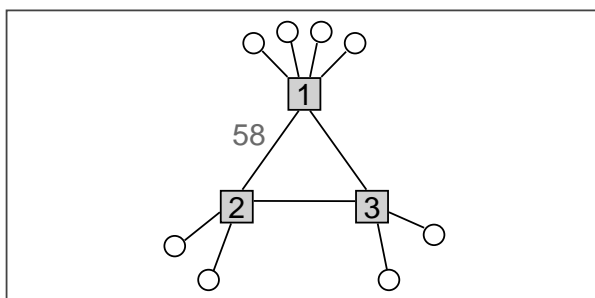
- 3 paikalliskeskusta, jotka kytketty täydellisesti toisiinsa kaksisuuntaisilla linkeillä
- liikennematriisi T annettu ohessa
- kiinteä (suora) reititys: kutsuille valitaan lyhyin polku
- keskim. pitoaika $h = 3$ min

- Tehtävä:**

- Laske kullekin linkille laatuvaatimuksen $B \leq 1\%$ täyttävä kapasiteetti (so. kanavien lkm)

37

Esimerkki (2)



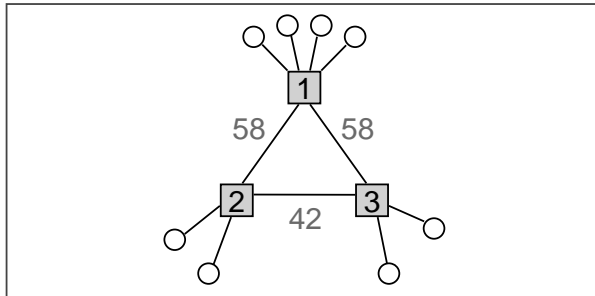
alue	1	2	3	summa
1	60	15	15	90
2	30	30	15	75
3	30	15	30	75
summa	120	60	60	240

- Linkki 1-2 (solmujen 1 ja 2 välillä):**

- tarjottu liikenne suunnassa $1 \rightarrow 2$:
 $a(1,2) = T(1,2) = 15$ erlangia
- tarjottu liikenne suunnassa $2 \rightarrow 1$:
 $a(2,1) = T(2,1) = 30$ erlangia
- tarjottu liikenne kaiken kaikkiaan:
 $a(1-2) = T(1,2) + T(2,1)$
 $= 15 + 30 = 45$ erlangia
- vaadittu kapasiteetti:
 $n(1-2) \geq \min\{i \mid \text{Erl}(i,45) \leq 1\%\}$
 $\Rightarrow n(1-2) \geq 58$ kanavaa

38

Esimerkki (3)



alue	1	2	3	summa
1	60	15	15	90
2	30	30	15	75
3	30	15	30	75
summa	120	60	60	240

- **Linkki 1-3** (solmujen 1 ja 3 välillä):

- tarjottu liikenne kaiken kaikkiaan:
 $a(1-3) = T(1,3) + T(3,1)$
 $= 15 + 30 = 45$ erlangia
- vaadittu kapasiteetti:
 $n(1-3) \geq \min\{i \mid \text{Erl}(i,45) \leq 1\% \}$
 $\Rightarrow n(1-3) \geq 58$ kanavaa

- **Linkki 2-3** (solmujen 2 ja 3 välillä):

- tarjottu liikenne kaiken kaikkiaan:
 $a(2-3) = T(2,3) + T(3,2)$
 $= 15 + 15 = 30$ erlangia
- vaadittu kapasiteetti:
 $n(2-3) \geq \min\{i \mid \text{Erl}(i,30) \leq 1\% \}$
 $\Rightarrow n(2-3) \geq 42$ kanavaa

39

Taulukko: $B = \text{Erl}(n,a)$

- **$B = 1\%$**

n :	a :
– 35 kanavaa	24.64 erlangia
– 36 kanavaa	25.51 erlangia
– 37 kanavaa	26.38 erlangia
– 38 kanavaa	27.26 erlangia
– 39 kanavaa	28.13 erlangia
– 40 kanavaa	29.01 erlangia
– 41 kanavaa	29.89 erlangia
– 42 kanavaa	30.78 erlangia
– 43 kanavaa	31.66 erlangia
– 44 kanavaa	32.55 erlangia
– 45 kanavaa	33.44 erlangia

- **$B = 1\%$**

n :	a :
– 50 kanavaa	37.91 erlangia
– 51 kanavaa	38.81 erlangia
– 52 kanavaa	39.71 erlangia
– 53 kanavaa	40.61 erlangia
– 54 kanavaa	41.51 erlangia
– 55 kanavaa	42.41 erlangia
– 56 kanavaa	43.32 erlangia
– 57 kanavaa	44.23 erlangia
– 58 kanavaa	45.13 erlangia
– 59 kanavaa	46.04 erlangia
– 60 kanavaa	46.95 erlangia

40

Päästä-päähän esto

- Tähän asti olemme keskittyneet kutsuston B_c laskemiseen yhden linkin tapauksessa
- Kutsun reitti kuitenkin muodostuu useammasta peräkkäisestä linkistä. Näin ollen kiinnostavampi suure on kutsun kokema **päästä-päähän esto** (end-to-end blocking probability) B_e .
- Päästä-päähän estoa voidaan arvioida esim. ns. **tulorajamenetelmällä** (Product Bound), missä estymisen eri linkeissä approksimoidaan tapahtuvan riippumattomasti:
 - Indeksoidaan j :llä linkejä kutsun reitin varrella, $j = 1, 2, \dots, J$. Merkitään $B_c(j)$:llä kutsun yksittäisessä linkissä j kokemaa estoa. Tällöin

$$B_e \approx 1 - (1 - B_c(1)) * (1 - B_c(2)) * \dots * (1 - B_c(J))$$

$$B_c(j)\text{:t pieniä} \Rightarrow B_e \approx B_c(1) + B_c(2) + \dots + B_c(J)$$

41

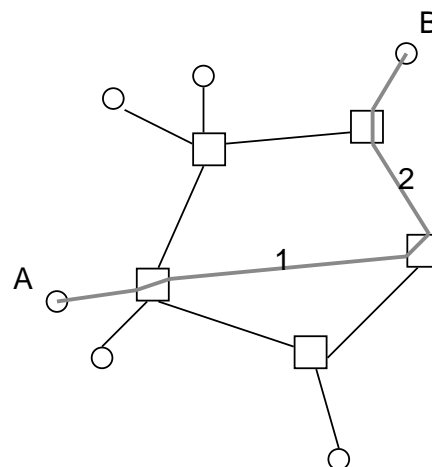
Esimerkki

- Yhteyspyyntö päätelaitteesta A päätelaitteeseen B on reititetty läpi runkoverkon linkkien 1 ja 2
- Merkitään $B_c(1)$:llä ja $B_c(2)$:lla kutsuestoa näissä linkeissä
- Tuloraja-approksimaatio päästä-päähän estolle B_e :

$$B_e \approx 1 - (1 - B_c(1))(1 - B_c(2))$$

$$= B_c(1) + B_c(2) - B_c(1) * B_c(2)$$
- Likimain:

$$B_e \approx B_c(1) + B_c(2)$$



42

Kirjallisuutta

- 1 A. Olsson, ed. (1997)
 - “Understanding Telecommunications 1”
 - Studentlitteratur, Lund, Sweden
- 2 A. Girard (1990)
 - “Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks”
 - Addison-Wesley, Reading, MA

THE END

