

ELEC-C7110

Informaatioteknologian perusteet

Kalevi Kilkki

Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos

Verkot

28.1. & 29.1.2019

Kurssin rakenne



- » 7+2 asiakokonaisuutta = jakso (viikko)
- » Viikko: 2+2 tuntia luentoja ma 14:15, TU1/1017, ti 14:15, E/Y124
2 tuntia harjoituksia ke 12.15, TU1/1017
 1. Johdanto ma 7.1. & ti 8.1.
 2. Tietoliikennealan palvelut ma 14.1. & ti 15.1.
 3. Tiedonsiirto ma 21.1. & ti 22.1.
 4. Kiinteät verkot ma 28.1. & ti 29.1. "matemaattisin osuus"
 5. Matkaviestintä ma 4.2. & ti 5.2.
 6. Tietojenkäsittely ma 11.2. & ti 12.2.
(tenttiviikko – ei opetusta ma 18.2. & ti 19.2.)
 7. Internet ma 25.2. & ti 26.2.
 8. Kommunikaatioakustiikka ma 4.3. & ti 5.3.
 9. Puheteknologia ma 11.3. & ti 12.3.

TENTTI 10.4.2019

Luentotehtävä 22.1.2019



» Mitä seuraavat tehot ovat dBm –asteikolla

1:	2 W	33 dBm
2:	1 nW	-60 dBm
3:	5 kW	67 dBm
4:	40 MW	106 dBm
	2,5 W	34 dBm (koska $2,5 = 10 / 4$)

ELEC-C7110

3

Shannon-lasku

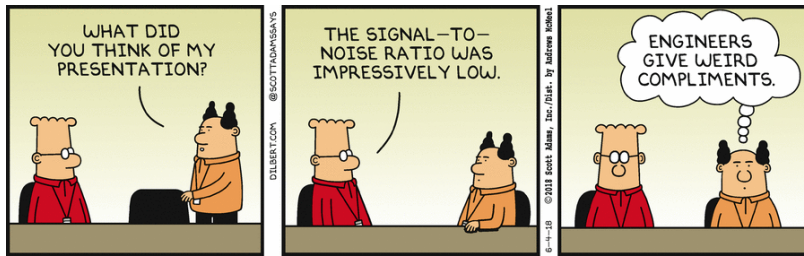


- » Signaali & kohina koko kaistalla
 - › $-75 \text{ dBm} + -80 \text{ dBm} = 31,6 \text{ pW} + 10 \text{ pW} = 41,7 \text{ pW}$
 - › $S/N = 250/41,7 = 6,00$
 - › Kapasiteetti = 281 kbit/s
- » Signaali & kohina kahdella 50 kHz kaistalla
 - › $S/N = 3,95$, $C = 115 \text{ kbit/s}$ & $S/N = 12,5$, $C = 188 \text{ kbit/s}$
 - › Yhteensä $C = 303 \text{ kbit/s}$
- » Koko signaali pienemmän kohinan kaistalle
 - › $S/N = 25$, $C = 235 \text{ kbit/s}$
- » Optimaalista on laittaa tehosta hieman enemmän pienemmän kohinan kaistalle

ELEC-C7110

4

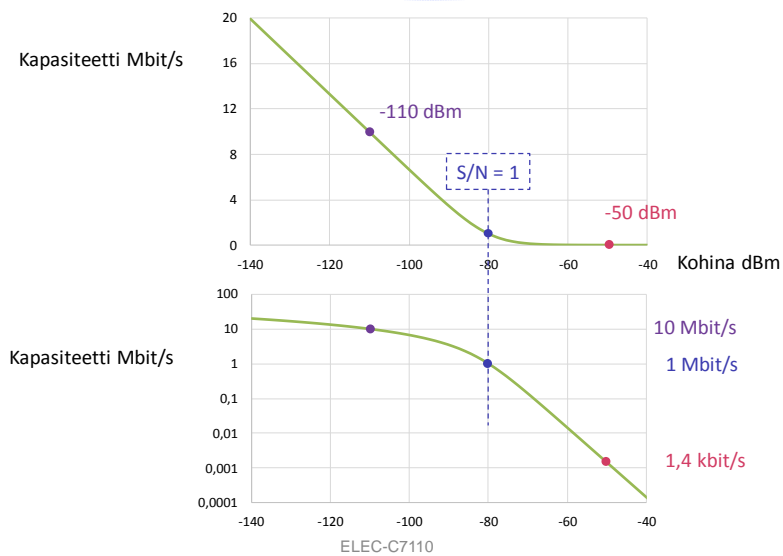
Only engineers can understand this...



ELEC-C7110

5

Shannon: Signaali = -80 dBm, kaista = 1 MHz



6

Tämän viikon keskeiset aiheet

(• mahdollisia tenttikysymyksiä)



1. Verkkorakenteet ja niiden keskeiset ominaisuudet
2. Verkon rakenteen vaikutus yhteyksien saatavuuteen
 - Miten verkon topologia vaikuttaa verkon avulla tuotettavan tiedonsiirtopalvelun luotettavuuteen?
3. Piiri- ja pakettikytkennän erot
 - Mitkä ovat piiri- ja pakettikytkentäisten verkkojen tärkeimmät edut ja ongelmat?
4. CSMA/CD-toimintaperiaate
 - Minkälaisessa tilanteessa CSMA/CD-periaate on hyödyllinen tai jopa välttämätön osa tiedonsiirron toteutusta?
5. Järjestelmän suorituskyvyn analysointi mallintamisen avulla
 - Miksi yksinkertaisissa malleissa käytetään eksponentiaalisia jakaumia? Mikä on siis eksponentiaalisen aikajakauman keskeisin ominaisuus?

ELEC-C7110

7

Juuri nyt: Elisan internetyhteyksissä on laajoja häiriöitä



Kaivinkone katkaisi Elisan internet-yhteydet Suomesta ulkomaille

KOTIMAA 26.11.2014 17:16 Päivitetty 26.11.2014 17:39
Helsingin Sanomat

Vika vaikuttaa internetyhteyksiin Suomesta ulkomaille.

"Yhteydet Suomen sisällä toimivat tietääksemme edelleen pääasiassa hyvin", Vuorela sanoo.

Elisan puhelin-yhteyksissä vikaa ei ole havaittu, mutta mobiilinettyhteyksiin se vaikuttaa.

Korjaustöiden kesto ei noin kello 17.30 voinut vielä arvioida, sillä korjaajat eivät olleet vielä ehtineet paikanpäälle vikaa tarkemmin tutkimaan.

Kotimaa 16.12.2014 klo 15:41 | päivitetty 16.12.2014 klo 15:45

Sonera: "Nolo juttu" - Kahden miljoonan suomalaisen kännykät pimenivät

Ohjelmistovika matkapuhelinkeskuksessa hiljensi tänään kahden miljoonan Telia-Soneraa käyttävän matkapuhelimen. Käytännössä lähes kaikki - mukaanlukien monet viranomaiset - Soneran asiakkaat olivat kykenemättömiä soittamaan tai lähettämään tekstiviestejä.

Julkaisu: 6.8.2011 15:21

Suosittelen Jaa 0

Osassa teleoperaattori DNA:n puhpalveluita ilmeni laaja toimintahäiriö lauantaiamuna, joka yhä haittaa asiakkaita.

Häiriö on kestänyt useita tunteja ja DNA ehti jo tiedottaa vian korjaamisesta.

DNA:n mukaan toimintahäiriö johtuu **sähkönsyöttöongelmasta** pääkaupunkiseudun teknisessä laitebiassa.

Ilta-Sanomat sai kymmeniä yhteydenottoja, joiden perusteella häiriöitä ilmeni eri puolilla Suomea.

DNA:n mukaan vika vaikutti DNA:n asiakaspalvelu- ja vikapalvelunumeroin sekä osaan pääkaupunkiseudun matkaviestinliikennettä ja mobiilivaihd palveluun.

ELEC-C7110

8

Vikatilastoja kaapeleille

	Sellaisenaan upotettu kaapeli (216 vikaa)	Putkitettu kaapeli (160 vikaa)
Kaivuu	80%	65%
Jyrsijät	5%	2%
Työmiehet	2%	13%
Tulva	2%	-
Salama	2%	-
Höyry	-	2%
Ääriämpötila	-	2%
Muut syyt	9%	17%

Alcoa Fujikura Ltd (May 2001)

ELEC-C7110

9

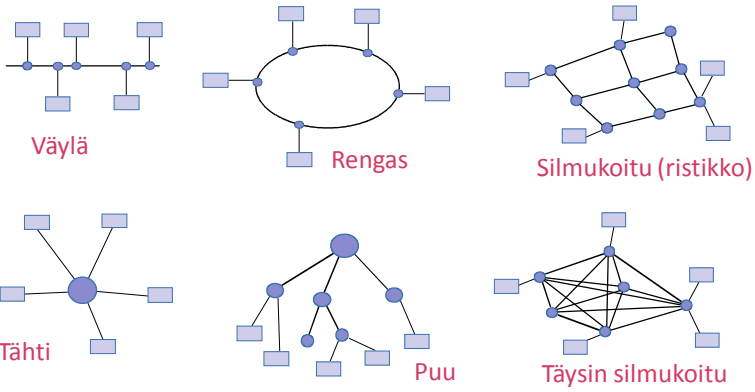
Kustannus vs. luotettavuus

- » Luotettavuutta voidaan parantaa lisäämällä resursseja
 - › **Kustannus ↔ hyöty**
- » Yksinkertainen malli
 - › Resurssi = tiedonsiirtoyhteys = jänne solmujen välillä
 - › Kustannus = jänteen rakentaminen ja ylläpito
 - › Hyöty = luotettavampi palvelu
 - + mahdollisesti suurempi kapasiteetti
 - (riippuu siitä onko pullonkaula siirto- vai välityskapasiteetti)

ELEC-C7110

10

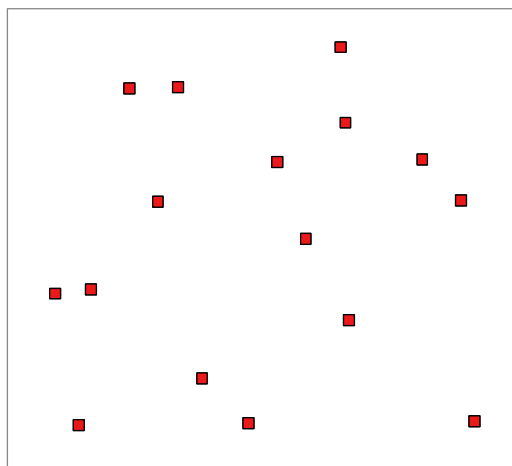
Verkkorakenteita eli topologioita



ELEC-C7110

11

Erään verkon 16 solmua

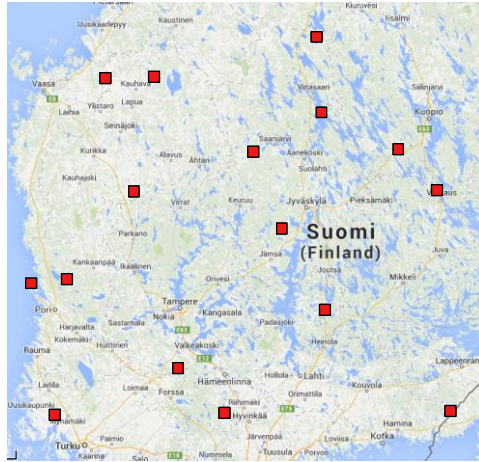


Paikat arvottu!

ELEC-C7110

12

Paikat kartalla....



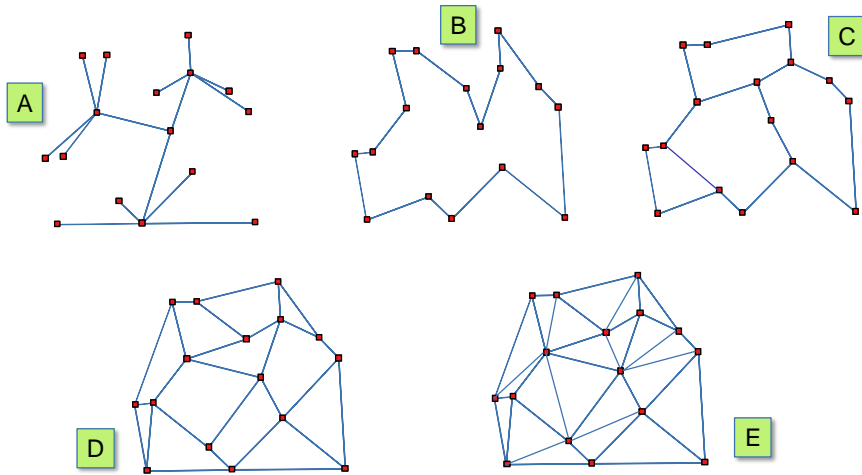
Pituuksien hahmottamiseksi!

100 km

ELEC-C7110

13

Vastaa pankin runkoverkosta
Minkä verkon valitsisit näistä 5:stä?



ELEC-C7110

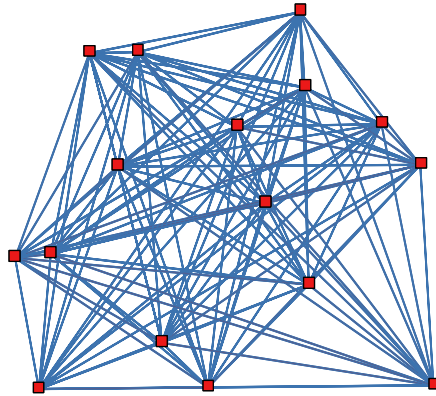
14

Täysin silmukoitu (full mesh)

$$120 * 216 = 25980 \text{ km}$$

Jänteiden
lukumäärä

Jänteiden
keskipituus



Täysin silmukoidun
verkon jänteiden
yhteispituus $\sim N^2$
(kun alueen koko on vakio)
 \Rightarrow
huono
laajennettavuus

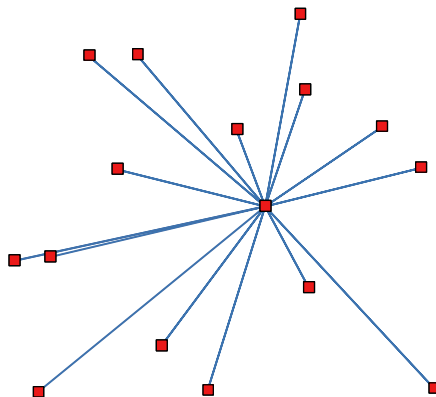
ELEC-C7110

15

Tähti

$$15 * 164 = 2460 \text{ km}$$

< 10 % täysin silmukoidun verkon kokonaispituudesta



Yksi solmu on
kriittinen resurssi,
toisaalta muut
solmut voivat olla
yksinkertaisia

Kokonaispituus $\sim N$
(kun alueen koko on vakio)

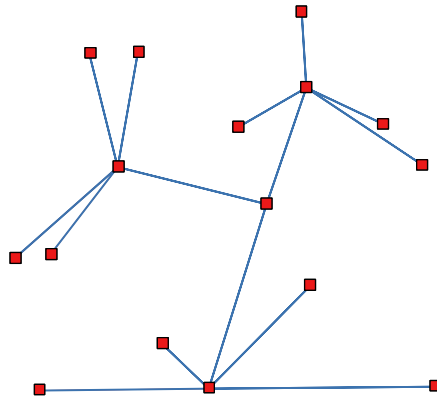
ELEC-C7110

16

Hierarkkinen – 2 tasoa

$$15 * 115 = 1722 \text{ km}$$

— muutos edelliseen (tähti) = -30%



Jos päätepisteitä on paljon, hierarkia on luontainen ratkaisu

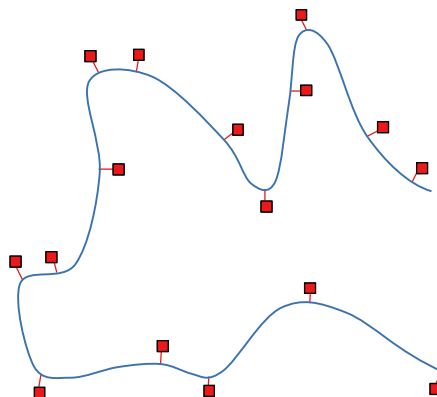
(16 solmua on hierarkkiseksi verkoksi pieni)

ELEC-C7110

17

Vain yksi väylä

$$15 * 92 = 1380 \text{ km}$$



Signaalin ei tarvitse kulkea minkään solmun kautta

(solmu siis "poimii" oman signaalin)

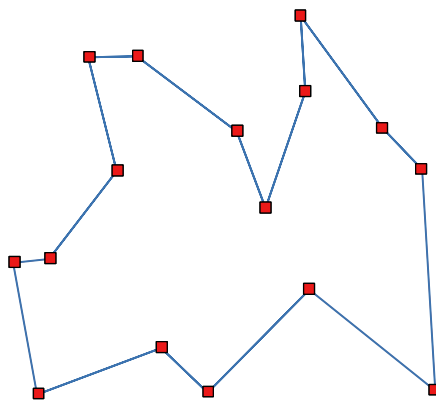
ELEC-C7110

18

Rengas

$$16 * 99 = 1578 \text{ km}$$

— muutos edelliseen (väylä) = +14%



Lyhyimmän reitin etsiminen eli “Kauppamatkustajan ongelma” on ns. “NP täydellinen” – eli ongelma joka on äärimmäisen vaikea ratkaista kun solmujen määrä on suuri

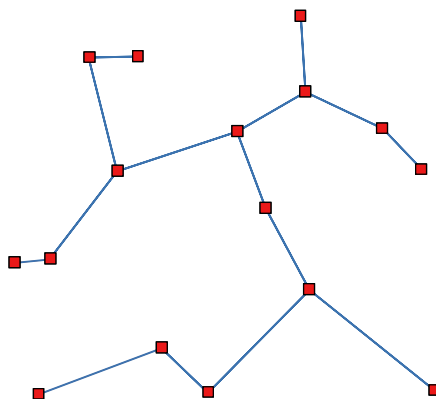
ELEC-C7110

19

Puu

$$15 * 84 = 1256 \text{ km}$$

— < 5% täysin silmukoidun verkon kokonaispituudesta



Lyhyin mahdollinen jänteiden kokonaispituus, joilla voi yhdistää kaikki solmut

Kokonaispituus $\sim \sqrt{N}$
(kun alueen koko on vakio)

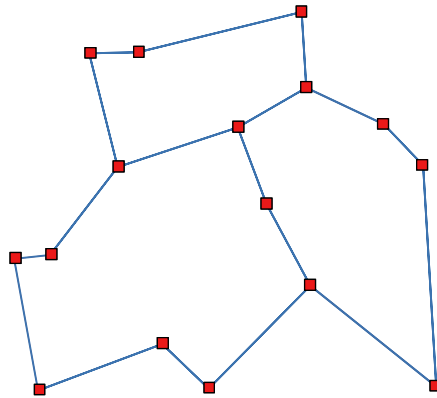
ELEC-C7110

20

Silmukoitu (harva)

$$18 * 96 = 1722 \text{ km}$$

— muutos edelliseen (puu) = +37%



Muutamakin
lisäjänne parantaa
olennaisesti
verkko-palveluiden
saatavuutta
(luotettavuutta)

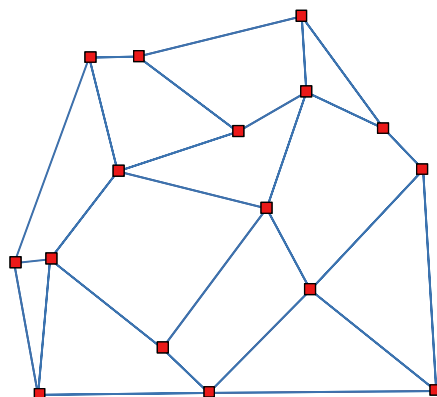
ELEC-C7110

21

Silmukoitu (melko tiheä)

$$27 * 115 = 3108 \text{ km}$$

— muutos edelliseen (harva) = +80%



Tässä verkossa on
vähintään 3 vaihto-
ehtoista (täysin eri)
reittiä jokaisen
solmuparin välillä

ELEC-C7110

22

Kustannus

» Oletukset









- › alueen koko on vakio
- › solmut sijoittuvat tasaisesti alueelle
- › N = solmujen lukumäärä

» Kokonaispituus

- › Puumainen verkko $\approx \sqrt{N}$
- › Ristikverkko $\approx 2 \sqrt{N}$
- › Tähtimäinen verkko $\approx 0,38 N$
- › Täysin kytketty verkko $\approx 0,26 N^2$

$N = 16$	$N = 100$
4	10
8	20
6	38
67	2600

Vertailu

	Linkkejä	Keskipituus	Kokonaispituus	Max linkkejä	Vaihtoehtoisia reittejä
 Väylä	15	92	1380	15	1
 Rengas	16	99	1578	8	2
 Tähti	15	164	2460	2	1
 2 tason hierarkia	15	115	1722	4	1
 Puu	15	84	1256	8	1
 Silmukoitu harva	18	96	1722	6	2
 Silmukoitu tiheä	27	115	3108	4	3
 Täysin silmukoitu	120	216	25980	1	15

Saatavuuden analyysi

- » Kaapeleissa keskimäärin (korkeintaan)
2 vikaa/1000 km/vuosi
- » Oletetaan
 - › Jänteen pituus = 100 km
 - › Korjausaika = 8 tuntia
 - ⇒ Saatavuus = $1 - 2 \cdot 100 / 1000 / 8 / 365 / 24 \approx 99.98\%$
- » **Poikkeustilanteissa** voi olla paljon huonompi
 - › myrsky, kriisi, hyökkäys...
- » Lisäksi
 - › sama ohjelmistovika voi ilmetä useassa solmussa
 - › vian aiheuttama ylikuormitus voi levitä läpi verkon

Laskelma

- » Kustannus = jänne (tai kaapelikilometri)
- » Hyötylaskelma (tai epäluotettavuuden kustannuslaskelma)
 - › Yhden jännteen (i) saatavuus: A_i = todennäköisyys että yhteys jännteen yli toimii
 - › Reitti jolla on N kappaletta (riippumattomia) jänneitä peräkkäin

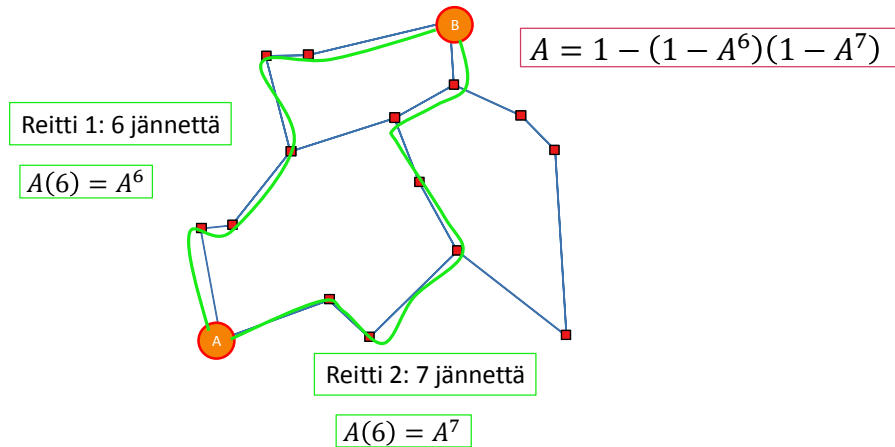
$$A(N) = \prod_{i=1}^N A_i \quad (\Pi = \text{tekijöiden tulo})$$

- › Yhteysväli jolla on M kappaletta vaihtoehtoisia, toisistaan riippumattomia reittejä (j)

$$A(M) = 1 - \prod_{j=1}^M (1 - A_j)$$

- A_j = reitin j saatavuus

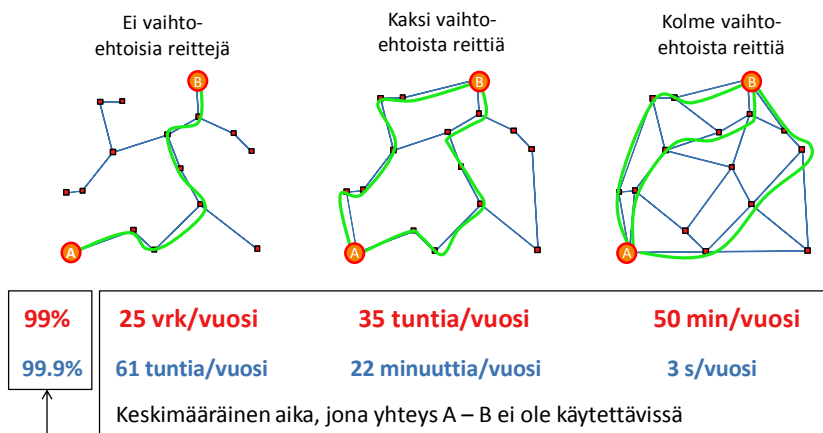
Laskelma solmujen A ja B välille ($A_i = \text{vakio}$)



ELEC-C7110

27

Vaihtoehtoisten reittien vaikutus



$A_i =$ Yhden jänteen saataavuus (toiminnan todennäköisyys, oletetaan vakioksi)

ELEC-C7110

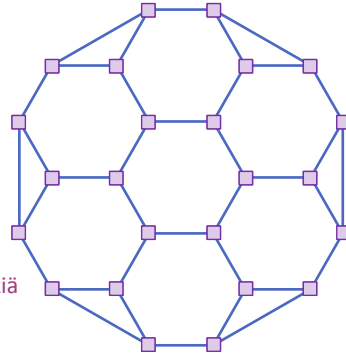
28

"Jalkapallo"

Kolme linkkiä jokaisesta solmusta
 Kolme toisistaan riippumatonta yhteyttä

N = solmujen määrä
 L = Linkkien määrä = $1,5N$

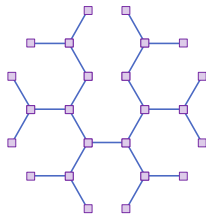
$N = 24$
 $L = 36$
 Lyhyimmän reitin keskipituus = 3,22 linkkiä
 Toisen reitin keskipituus = 4,72
 Kolmannen reitin keskipituus = 7,68



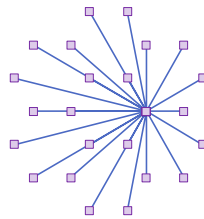
ELEC-C7110

29

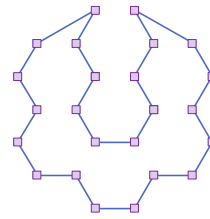
$N = 24$



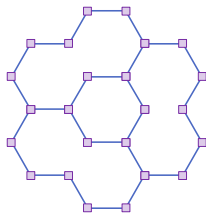
a) Puu ($L = 23$)



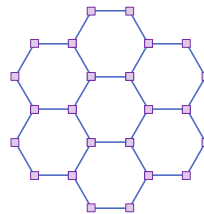
b) Tähti ($L = 23$)



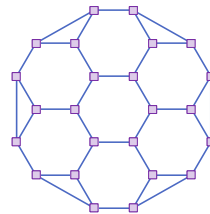
c) Rengas ($L = 24$)



d) Rengas+3 ($L = 27$)



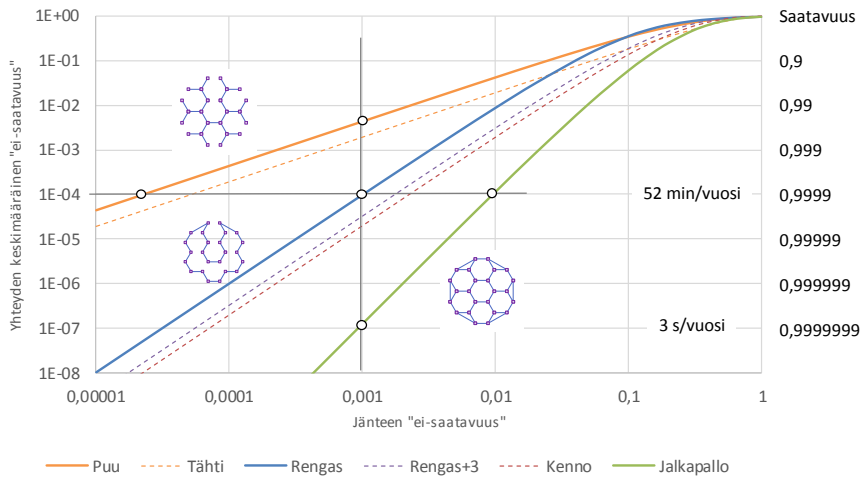
e) Kenno ($L = 33$)



f) Jalkapallo ($L = 36$)

ELEC-C7110

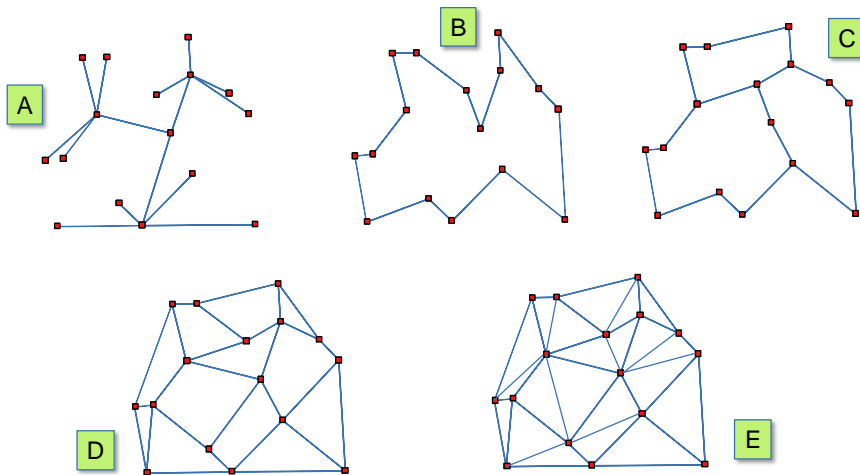
Saatavuus



ELEC-C7110

31

Minkä verkon valitsisit nyt näistä?

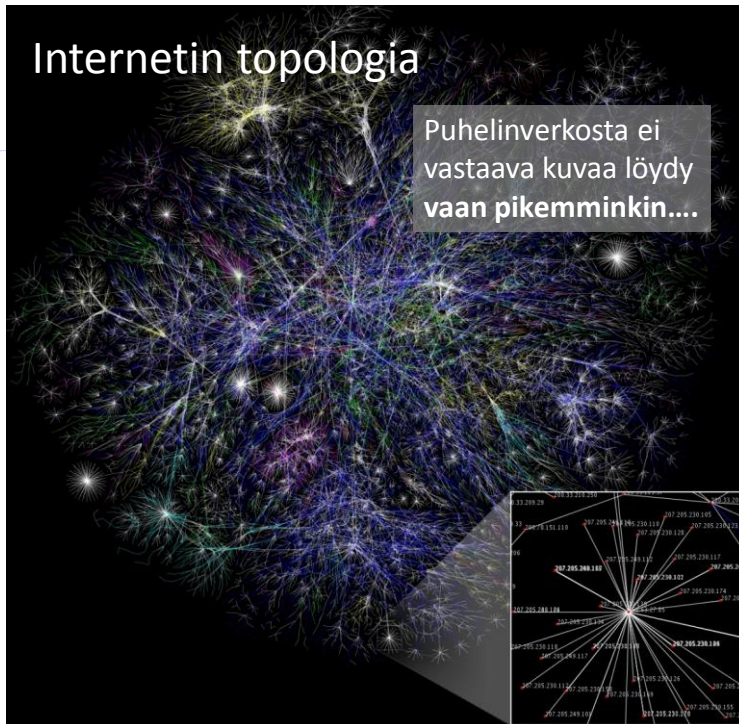


ELEC-C7110

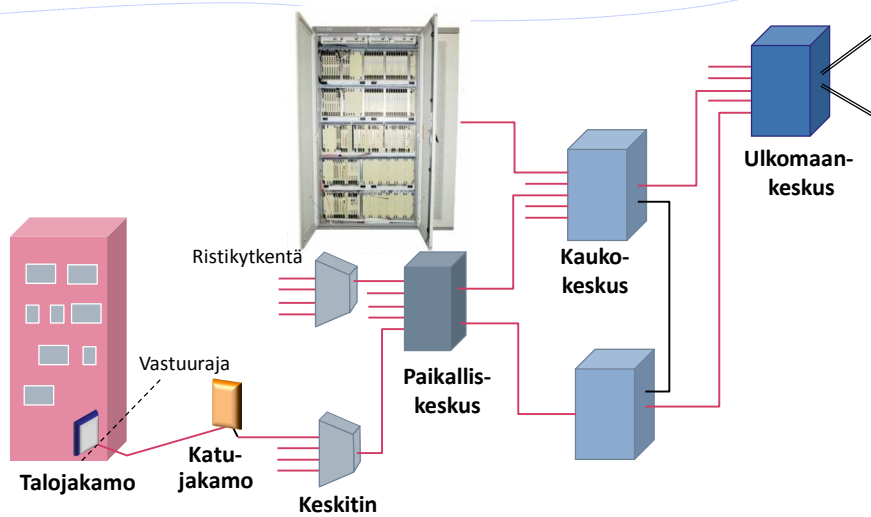
32

Internetin topologia

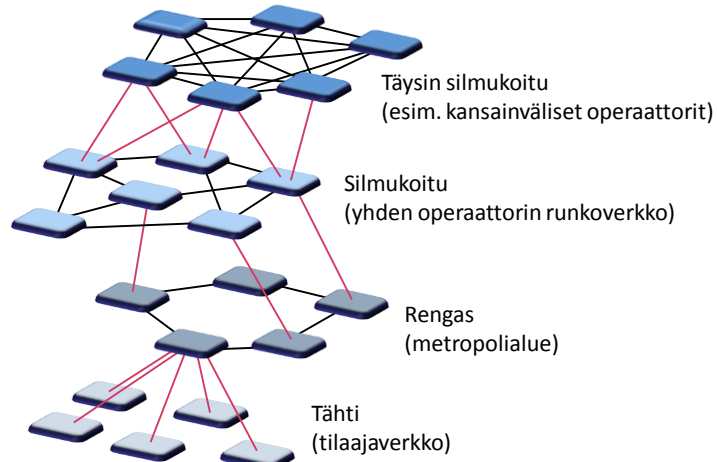
Puhelinverkosta ei vastaava kuvaa löydy vaan pikemminkin....



Puhelinverkon rakenne



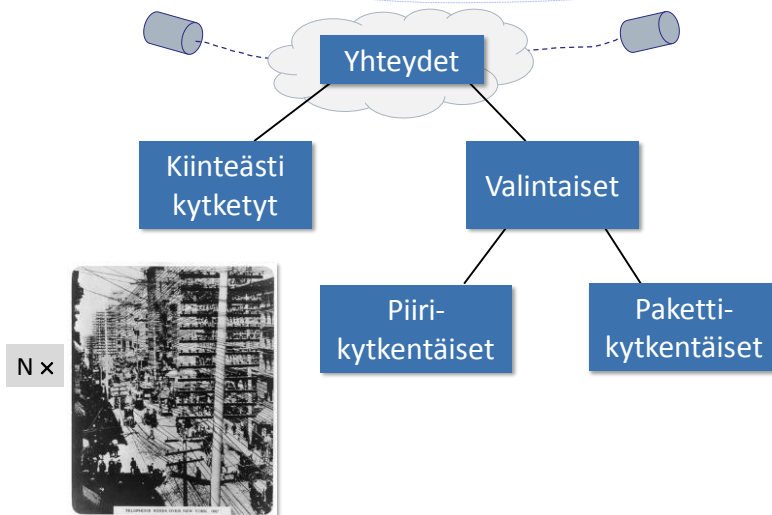
Looginen rakenne eri tasoilla



ELEC-C7110

35

Minkälaisia yhteyksiä on olemassa?



ELEC-C7110

36

- » **Piirikytkentäinen** (circuit switching)
 - › Tarvittavat resurssi on varattu ja käytettävissä koko yhteystapahtuman ajan
 - riippumatta siitä käytetäänkö yhteyttä vai ei
 - ... *mutta* "varaus" on venyvä käsite, samoin yhteystapahtuma
 - › Sopii esim. puheelle tai videolle
- » **Pakettikytkentäinen** (packet switching)
 - › Tiedon siirto paketeissa, joissa
 - osoitetieto mukana
 - ei tarvitse resurssin varausta
 - › Internetin toimintaperiaate (sovelluksesta riippumatta)

ELEC-C7110

37

Feynman: "Instead of arbitrarily memorizing things, look for the explanation that makes it obvious."

» Piirikytkentä

- Puhelinverkoissa alusta alkaen
- **Analoginen tai digitaalinen**
- Osoitetieto välitetään vain kerran (vaatii erillisen merkinannon)
- **Tehoton jos tarve vaihtelee yhteystapahtuman aikana**
- Informaatio kulkee aina samaa reittiä, järjestystä muuttamatta
- **Päätelaitteiden pitää toimia samalla nopeudella**
- Viiveen vaihtelu minimaalista
- Informaatiota hukkuu vain **vikatilanteissa**
- Kapasiteetin lisäys jäykkää

• Pakettikytkentä

- Dataverkoissa yleisin
- **Aina digitaalinen**
- Jokaisessa paketissa osoitetieto (ei välttämättä erillistä merkinantoa)
- **Tehokas siirtokapasiteetin käyttö**
- Paketit voivat kulkea eri reittejä ja niiden järjestys voi vaihtua
- **Päätelaitteet voivat toimia eri nopeuksilla**
- Viiveen vaihtelu voi olla huomattavaa
- **Paketteja voi hukkuu matkalla, mutta ne voidaan lähettää uudelleen**
- Kapasiteetin lisäys joustavaa

ELEC-C7110

38

Mihin teknologiat ovat menossa?



- » Kun kapasiteetit ja yhteyksien määrät ovat hyvin suuria \Rightarrow pakettikytkentä
 - › Runkoverkon perusteknologia (IP) pakettikytkentäistä
 - › Eri tekniikat voivat toimia samanaikaisesti eri verkkokerroksilla

ELEC-C7110

39

Tämän viikon keskeiset aiheet (• mahdollisia tenttikysymyksiä)



1. Verkkorakenteet ja niiden keskeiset ominaisuudet
2. Verkon rakenteen vaikutus yhteyksien saatavuuteen
 - Miten verkon topologia vaikuttaa verkon avulla tuotettavan tiedonsiirtopalvelun luotettavuuteen?
3. Piiri- ja pakettikytkennän erot
 - Mitkä ovat piiri- ja pakettikytkentäisten verkkojen tärkeimmät edut ja ongelmat?
4. CSMA/CD-toimintaperiaate
 - Minkälaisessa tilanteessa CSMA/CD-periaate on hyödyllinen tai jopa välttämätön osa tiedonsiirron toteutusta?
5. Järjestelmän suorituskyvyn analysointi mallintamisen avulla
 - Miksi yksinkertaisissa malleissa käytetään eksponentiaalisia jakaumia? Mikä on siis eksponentiaalisen aikajakauman keskeisin ominaisuus?

ELEC-C7110

40

ALOHA → CSMA/CD

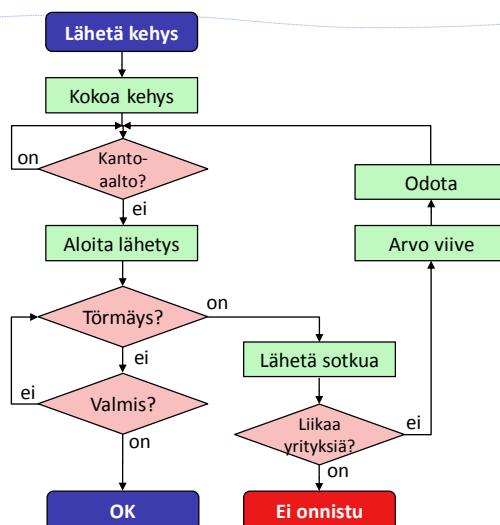


- » ALOHA (Univ of Hawaii)
 - › Jos on lähetettävää, lähetä
 - › Jos lähetyksen aikana toinen lähetys, lähetä uudelleen
- » *Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection*
 - › Ethernetissä käytetty siirtotien "varaus"-menetelmä
 - › Ei ennalta sovittua tapaa **välttää** törmäyksiä vaan perustuu törmäyksen havaitsemiseen jälkikäteen
 - › Jos törmäys havaitaan
 - lähettäjät lähettävät saman tiedon satunnaisen ajan kuluttua uudelleen
 - uuden törmäyksen todennäköisyys on (suhteellisen) pieni

ELEC-C7110

41

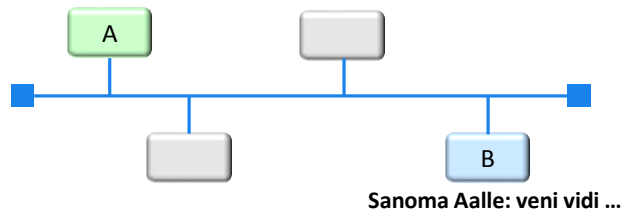
CSMA/CD



ELEC-C7110

42

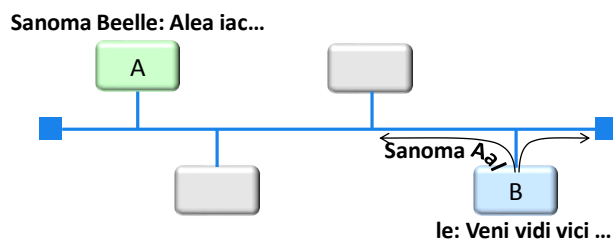
Asemalla B on viesti Asemalle A



ELEC-C7110

43

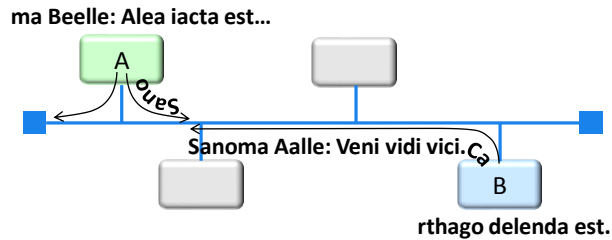
B aloittaa lähetyksen, samaan aikaan A päättää lähettää viestin B:lle.



ELEC-C7110

44

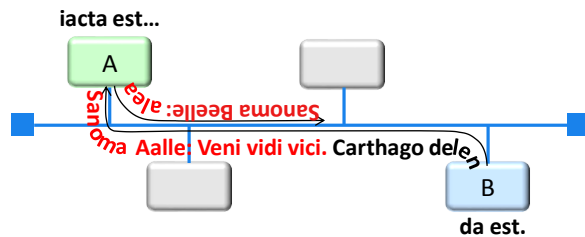
Sanomat "törmäävät" väylälle mutta kukaan ei huomaa vielä mitään



ELEC-C7110

45

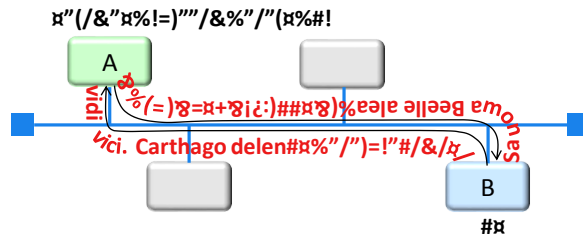
Asema A huomaa "törmäyksen" koska saapuva sanoma tulee samaan aikaan lähetyksen kanssa



ELEC-C7110

46

Lopulta myös B havaitsee törmäyksen



CSMA/CD: Miksi edelleen tarpeen?

- » Uusi asema radiotiellä ei voi tietää milloin pitää lähettää!
 - › Asema voi kuunnella tietyllä taajuudella ja
 - › päätellä milloin voi yrittää lähetystä, jolla voi joko
 - lähettää lyhyen sanoman tai
 - ilmoittaa suuremmasta informaation lähetystarpeesta
- » Tukiasema ei voi antaa "lähetysvuoroa" ennen kuin se tietää päätelaitteen olemassaolosta
 - › Lähetysvuoroja ei kannata jakaa ei-aktiivisille päätelaitteille

Liikenneteorian perusteita

ELEC-C7110

49

EkspONENTTijakauma

Tiheysfunktio

- » Kun puhelun keskipituus = h , niin puhelun pituuden jakauma ($x > 0$):

$$\Pr(\text{pituus} = x) = e^{-x/h}/h \, dx$$

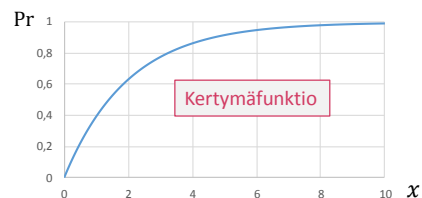
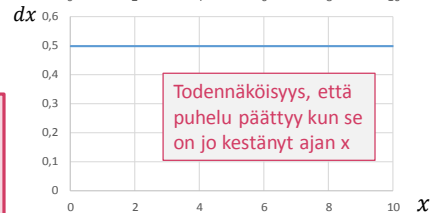
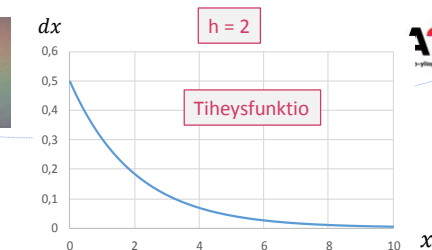
Uhkafunktio

Ehdollinen todennäköisyys että puhelu päättyy, kun se on jo kestänyt ajan x :

$$\Pr(\text{päättyy}[x; x + dx]) = \frac{dx}{h}$$

Kertymäfunktio

- » Tod.näk. puhelun pituus on alle x :
 $\Pr(\text{pituus} < x) = 1 - e^{-x/h}$



ELEC-C7110

50

Luentotehtävä 29.1.2019

Puhelun keskipituus on 4 min ja sen jakauma on eksponentiaalinen

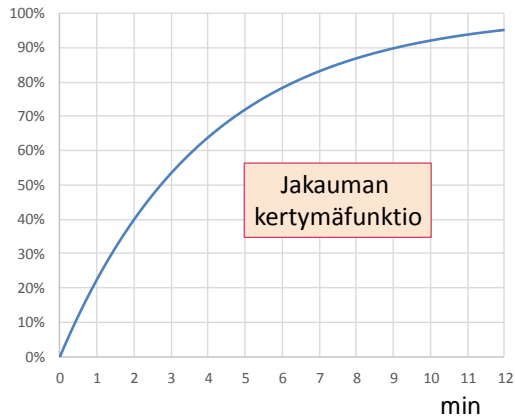
1. Mikä on todennäköisyys että puhelu kestää alle 2 min?
2. Mikä on todennäköisyys että puhelu kestää yli 9 min?
3. Kuinka pitkään puhelu keskimäärin vielä kestää, kun se on jo kestänyt 9 min?

Vastaukset

1: __ %

2: __ %

3: __ min



ELEC-C7110

51

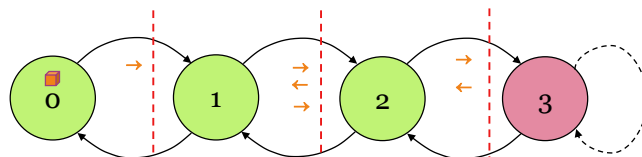
Tila = muuttujien joukko, joka riittää kuvaamaan järjestelmän käyttäytymisen tulevaisuudessa kun järjestelmään syötetä tunnetaan

Kolme palvelupaikkaa, ei odotusta

Asiakkaat tulevat toisistaan riippumatta satunnaisesti

⇒ Tapahtumat eksponentiaalisin väliajoin

⇒ Järjestelmän mahdollisia tiloja = 0, 1, 2 ja 3



Siirtymisien määrässä eroa korkeintaan 1

Suorituskykyanalyysi

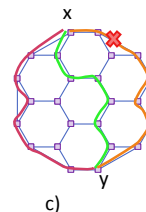
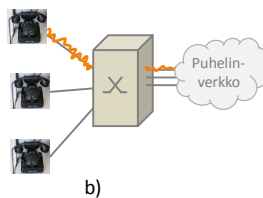
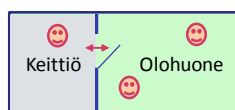
Vaiheet

1. Mahdollisten tilojen määrittäminen
2. Tilojen välisten siirtymisten määrittäminen
3. Tilojen välisten siirtymisten intensiteettien määrittäminen
4. Yhtälöt perustuen lokaaleihin tasapainoihin
5. Todennäköisyyksien ratkaiseminen
6. Johtopäätösten teko

ELEC-C7110

53

Esimerkkejä



- a) Kolme henkilöä asunnossa, jossa on keittiö ja olohuone
- b) Puhelinvaihte, jossa kolme puhelinta ja kolme yhteyttä puhelinverkkoon
- c) Verkko, jossa kolme vaihtoehtoista reittiä kahden solmun välillä ja jokainen reitti voi vioittua satunnaisesti
- d) Lintujen määrä lintulaudalla kolmella paikalla
- e) Autoja kolmen paikan parkkipaikalla



ELEC-C7110

54

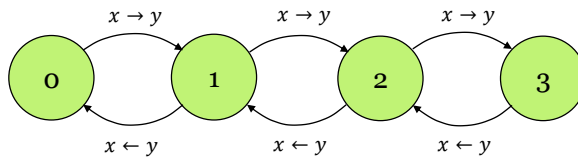
1. "Yksilön" tilat

keittiössä; olohuoneessa
 vapaana; varattuna
 kunnossa; epäkunnossa
 x; y

2. Järjestelmän tilat

tilassa y olevien yksilöiden määrä (0, 1, 2 tai 3)

3. Siirtymiset tilojen välillä



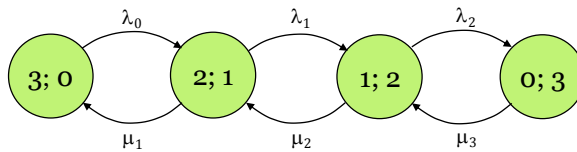
ELEC-C7110

55

1. Tilat

keittiö; olohuone

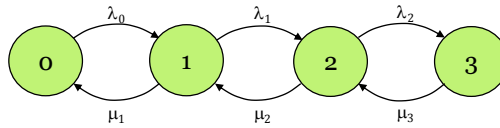
2. Siirtymisintensiteetit



ELEC-C7110

56

3. Siirtymäintensiteetit

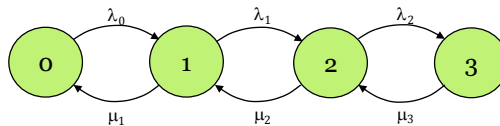


- Siirtymäintensiteetit (λ_i, μ_i) voivat riippua lähtötilasta
 - Keittiö/olohuone –tapauksessa vain keittiössä oleva henkilö voi siirtyä olohuoneeseen
 - Puhelun tapauksessa vain vapaana oleva puhelin voi aloittaa uuden puhelun

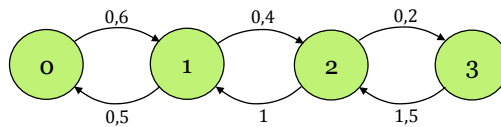
ELEC-C7110

57

3. Siirtymäintensiteetit



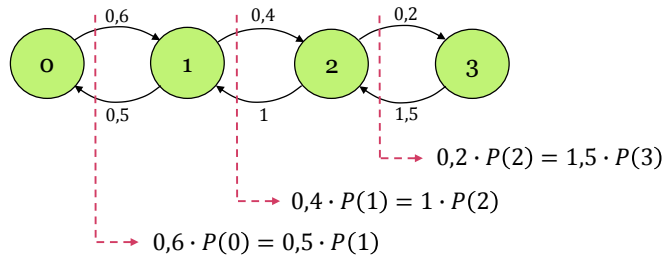
- Puhelun keskipituus = 2 min $\mu_i = i/2$ [1/min]
- Uusi puhelu keskimäärin 5 min kuluttua kun puhelin vapautuu $\lambda_i = (3 - i)/5$ [1/min]



ELEC-C7110

58

4. Yhtälöt: lokaali tasapaino



ELEC-C7110

59

5. Yhtälöiden ratkaisut

$$\begin{aligned}
 0,2 \cdot P(2) &= 1,5 \cdot P(3) \\
 0,4 \cdot P(1) &= 1 \cdot P(2) \\
 0,6 \cdot P(0) &= 0,5 \cdot P(1) \\
 P(0) + P(1) + P(2) + P(3) &= 1
 \end{aligned}$$

$P(0) = 0,364$ $P(1) = 0,437$ $P(2) = 0,175$ $P(3) = 0,023$
--

ELEC-C7110

60

6. Johtopäätöksiä

$$\begin{aligned} P(0) &= 0,364 \\ P(1) &= 0,437 \\ P(2) &= 0,175 \\ P(3) &= 0,023 \end{aligned}$$

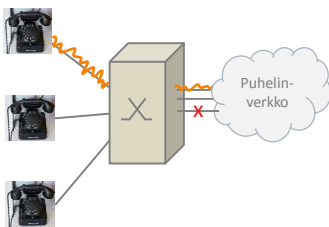


- » Millä todennäköisyydellä kaikki kolme puhelinta ovat varattuina?
 - › Vastaus: 2,3 %
- » Montako puhelun päättyi keskimäärin tunnissa?
 - › tilasta 1: $0,437 \times 0,5 = 0,219$ / min
 - › tilasta 2: $0,175 \times 1,0 = 0,175$ / min
 - › tilasta 3: $0,023 \times 1,5 = 0,035$ / min
 - › yhteensä 0,428 minuutissa eli 25,7 puhelua tunnissa

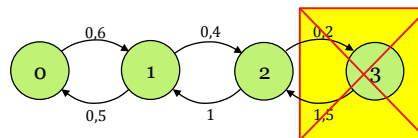
ELEC-C7110

61

Entä jos joku tila estetään?



- » Tilojen todennäköisyyksien suhteet eivät muutu!



$$\begin{aligned} P(0) &= 0,364 \\ P(1) &= 0,437 \\ P(2) &= 0,175 \\ P(3) &= 0,023 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} P(0) &= 0,373 \\ P(1) &= 0,448 \\ P(2) &= 0,179 \\ P(3) &= 0 \end{aligned}$$

ELEC-C7110

62

Poisson-malli

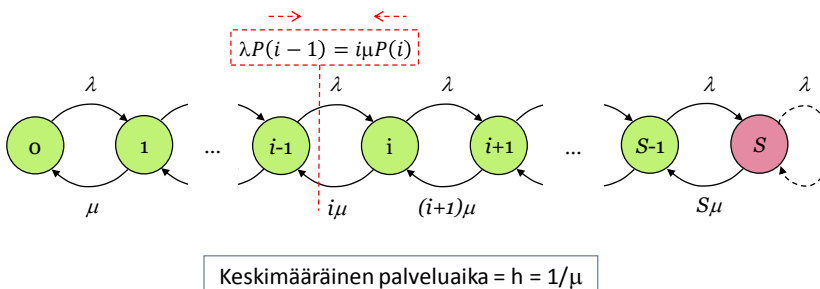
» **Määritelmä: Poisson-mallissa**

- › Ääretön määrä toisistaan riippumattomia asiakkaita
 - › Saapumisaikojen välit ovat toisistaan riippumattomia ja eksponentiaalisesti jakautuneita, keskiarvolla $1/\lambda$
 - › Palveluajat ovat toisistaan riippumattomia ja eksponentiaalisesti jakautuneita, keskiarvolla h
 - › **Ääretön** määrä palvelupaikkoja
- » Liikenteen voimakkuus $A = \lambda \cdot h$
- › Yksikkö Erlang

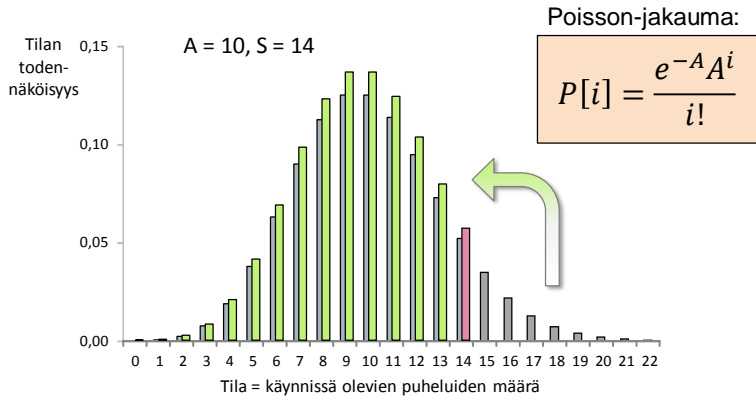


63

Poisson-liikenne & estojärjestelmä



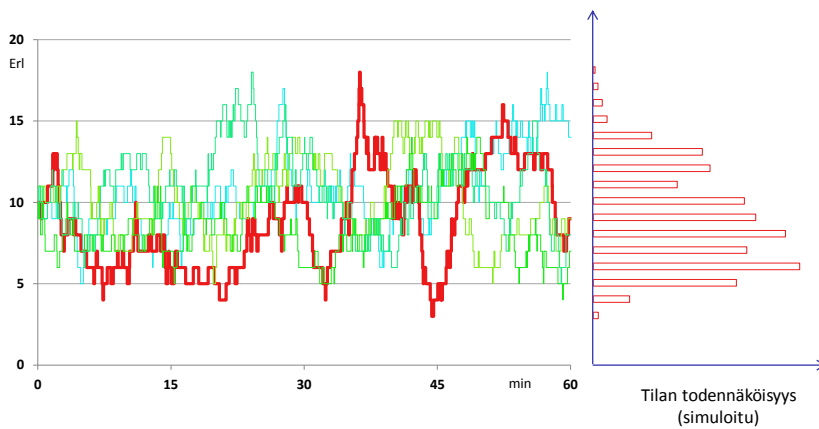
Periaate



ELEC-C7110

65

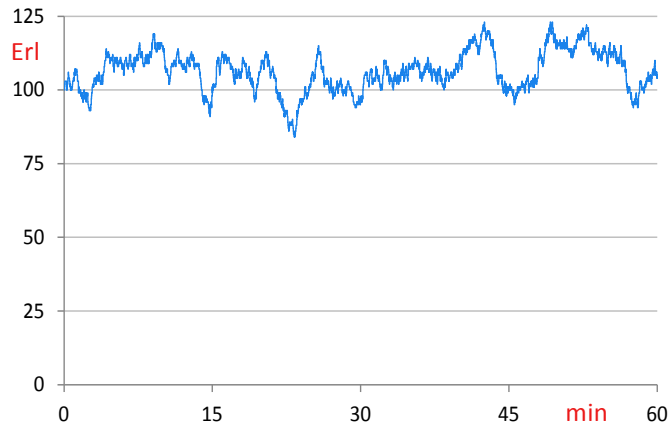
Liikenne – simuloituna (A = 10 Erl, Poisson)



ELEC-C7110

66

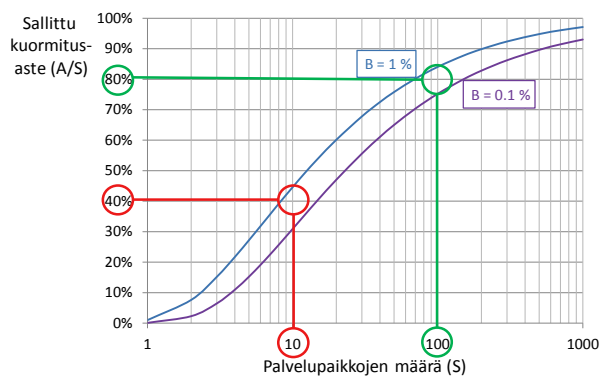
Liikenne: 100 Erlangia



ELEC-C7110

67

Lopputulos teoriassa ja aika hyvin käytännössäkin



Eli: jos tunnetaan palvelupaikkojen määrä (S) ja liikenne (A), voidaan ennustaa kuinka suuri osa yrityksistä estyy.

ELEC-C7110

68

Kurssi jatkuu ...



- » Huomenna klo 12:15 – 14:00
 - › Laskuharjoitus



- » Ensi viikolla:
 - › Matkaviestintää ja radiotekniikan perusteita