



2. Esimerkkejä eri järjestelmien mallintamisesta (osa 1)

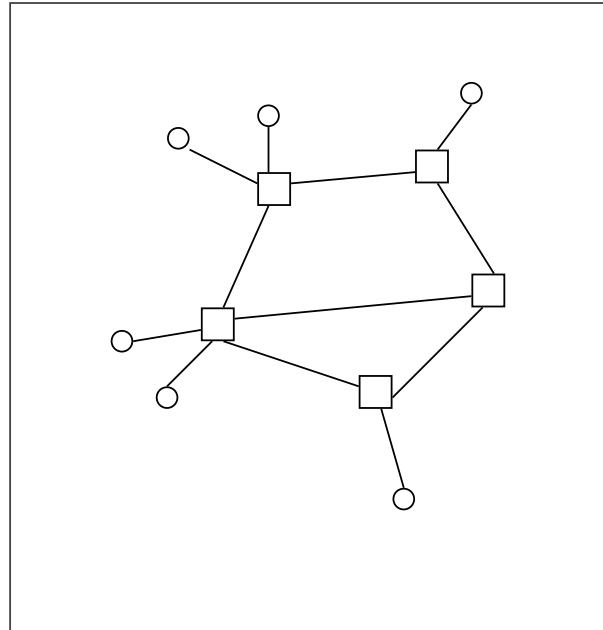
2. Esimerkkejä eri järjestelmien mallintamisesta (osa 1)

Sisältö

- Tietoliikenneverkot
- Verkko- taso: välityspäriatteet
- Linkkitaso: yhteyksien kanavointi ja keskitys
- Jaetun median yhteiskäyttö

Tietoliikenneverkot

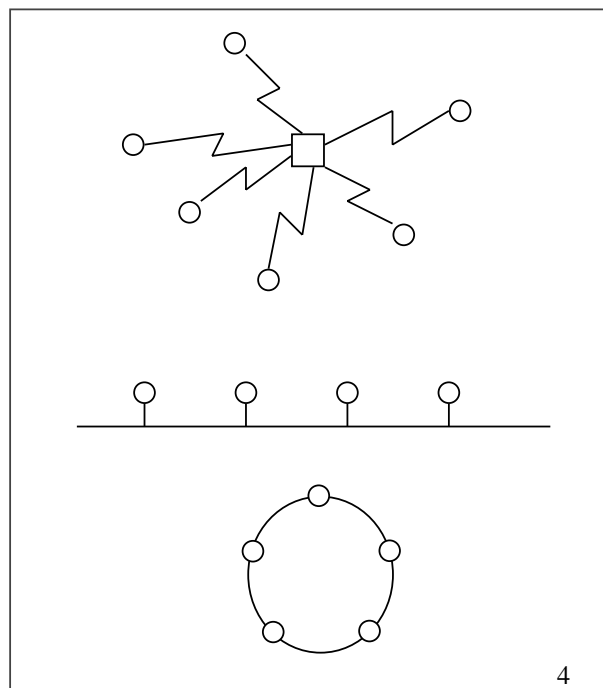
- Yksinkertainen tietoliikenneverkon malli koostuu
 - **solmuista** (node)
 - päätelaitteet ○
 - verkon solmut □
 - solmujen välisistä **linkeistä** (link)
- **Liityntäverkko** (access network)
 - päätelaitteita verkon (reunalla oleviin) solmuihin yhdistävä osa tietoliikenneverkosta
- **Runkoverkko**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



3

Jaettu media liityntäverkkona

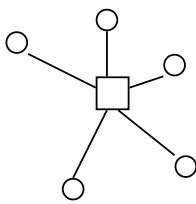
- Edellisen kalvon mallissa,
 - päätelaitteiden ja verkon solmujen väliset yhteydet oletetaan **pisteestä-pisteeseen** tyyppisiksi (⇒ resursseja jaetaan vain runkoverkon puolella)
- Joissakin tapauksissa, kuten
 - matkapuhelinverkko
 - lähiverkkoliityntäverkko muodostuu **jaetusta mediasta**:
 - käyttäjien on **kilpailtava** resursseista
 - tarvitaan erilaisia **moniliityntäteknikoita**



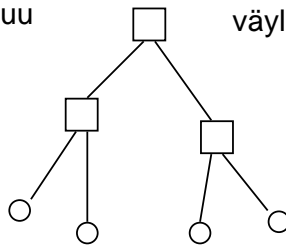
4

Verkon topologia

tähti



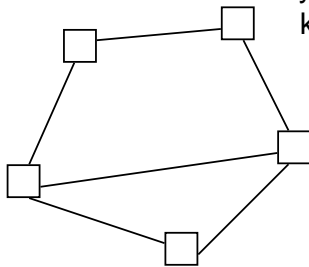
puu



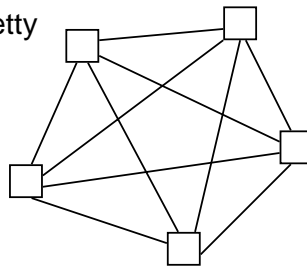
väylä



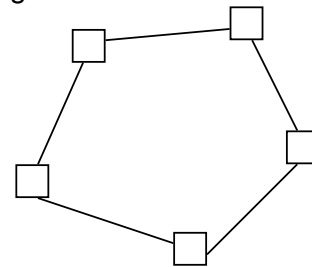
silmikoitu



täydellisesti
kytketty



renkas



Verkon hierarkia

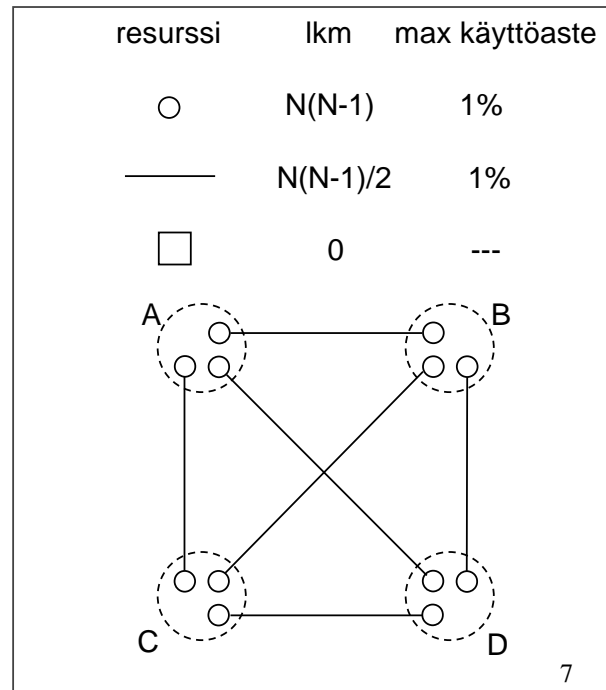
- Tietoliikenneverkot ovat tyypillisesti hierarkkisia sisältäen eri tasoja
 - litteät topologiat (vain yksi taso)
 - hierarkkiset topologiat (monta tasoa)
- Eräs luonnollinen hierarkiajako:
 - liityntä- vs. runkoverkko
- Perinteisesti puhelinverkossa:
 - monta tasoa (esim. AT&T:llä 5 tasoa)
- Nykyinen suuntaus:
 - hierarkiatasojen vähentäminen
 - “We see future large national networks with only three levels.”

Esimerkki: Miksi verkkoja? (1)

- Oletetaan, että
 - $N = 100$ henkilöä haluaa olla yhteydessä keskenään
- Ratkaisu 1:

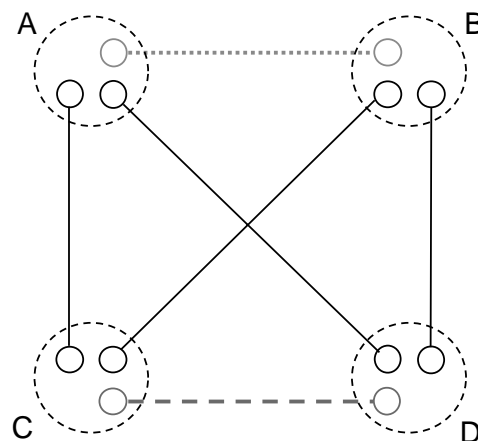
Erillisverkot

 - kunkin henkilön kotoa vedetään linkki kaikkien muiden koteihin
 - kunkin linkin päihin laitetaan omat päätelaitteet
 - ei kytkimiä
- Kommentit:
 - resursseja ei jaeta ollenkaan, joten käyttöaste jää pieneksi



Esimerkki: Miksi verkkoja? (2)

- Yhteyksien A-B ja C-D yhtaikainen toteutus ratkaisussa 1

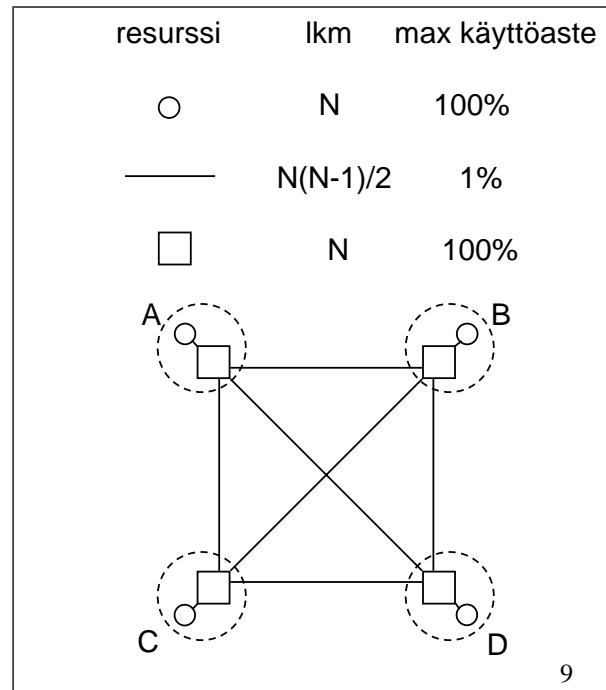


Esimerkki: Miksi verkkoja? (3)

- Oletetaan edelleen, että
 - N = 100 henkilöä haluaa olla yhteydessä keskenään
- Ratkaisu 2:

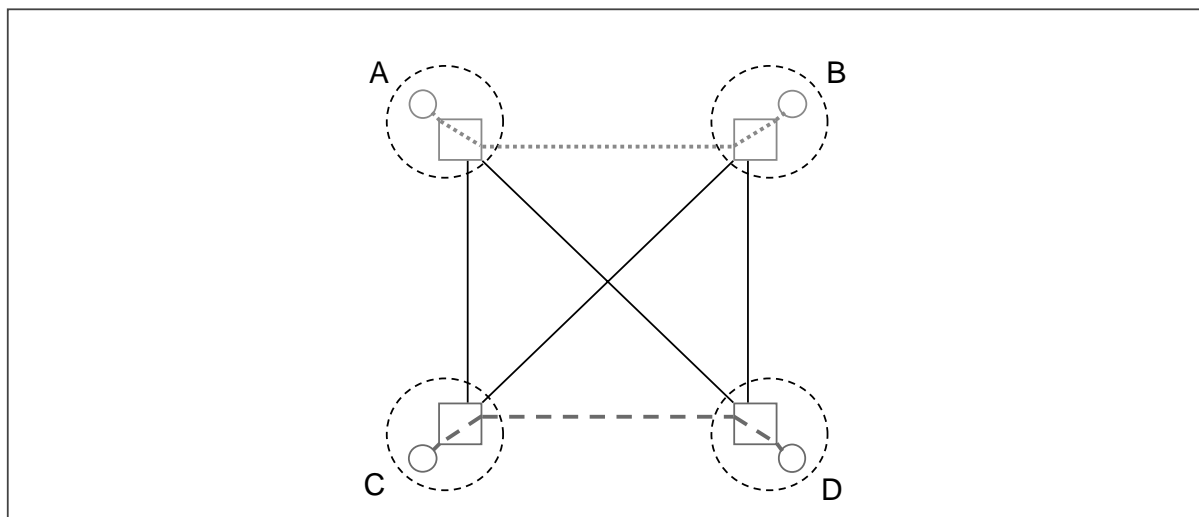
Täydellisesti kytketty verkko

 - vain yksi päätelaite per käyttäjä
 - kunkin henkilön kotiin kytkin
 - vedetään linkki kaikkien muiden kytkimiin
- Kommentit:
 - osittainen resurssien jakaminen
 - korkeampi käyttöaste



Esimerkki: Miksi verkkoja? (4)

- Yhteyksien A-B ja C-D yhtaikainen toteutus ratkaisussa 2

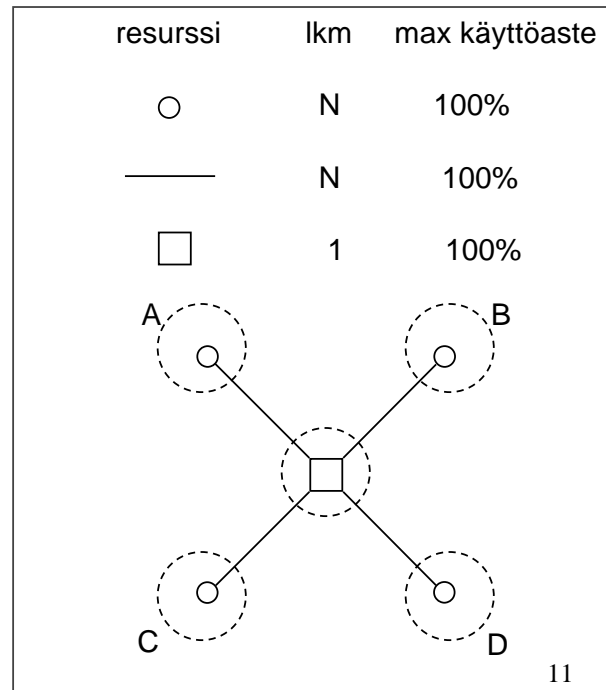


Esimerkki: Miksi verkkoja? (5)

- Oletetaan edelleen, että
 - N = 100 henkilöä haluaa olla yhteydessä keskenään
- Ratkaisu 3:

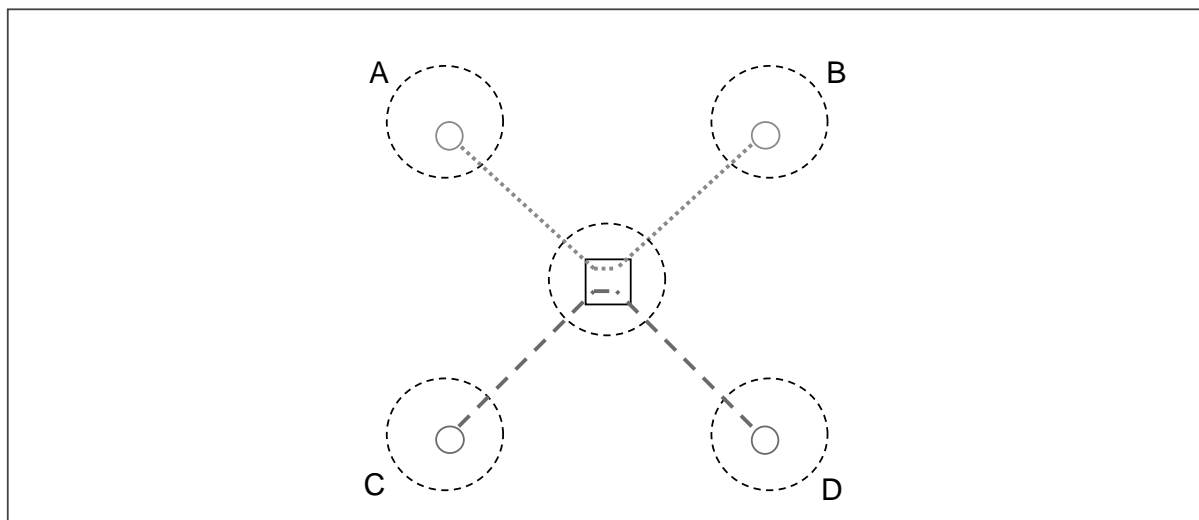
Tähtimäinen verkko

 - vain yksi päätelaite per käyttäjä
 - yhteinen keskus
 - vedetään linkki kunkin henkilön kotoa yhteiseen keskukseen
- Kommentit
 - täydellinen resurssien jakaminen
 - paras käyttöaste



Esimerkki: Miksi verkkoja? (6)

- Yhteyksien A-B ja C-D yhtaikainen toteutus ratkaisussa 3



Sisältö

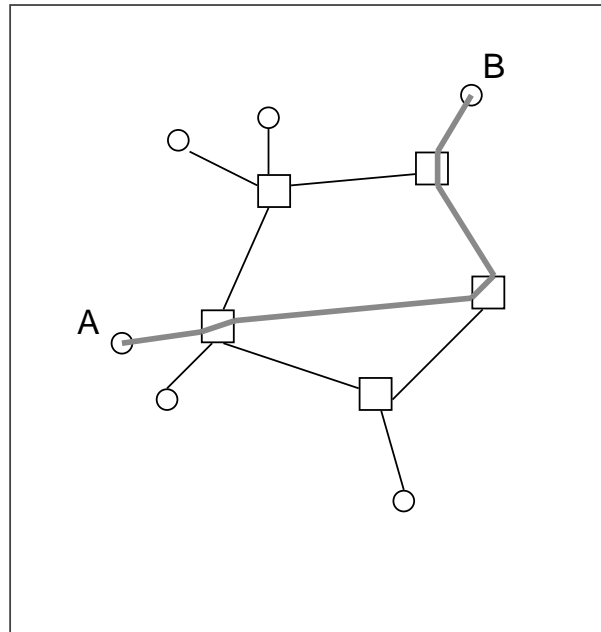
- Tietoliikenneverkot
- Verkkotaso: välityspäiaatteet
- Linkkitaso: yhteyksien kanavointi ja keskitys
- Jaetun median yhteiskäyttö

Tiedon siirto yli verkon: välityspäiaatteet

- **Piirikytkenä** (circuit switching)
 - perinteisestä puhelinverkosta tuttu välityspäiaate
 - käytössä myös nykyisissä matkapuhelinverkoissa
 - sovellettu jopa dataverkkoihin
- **Pakettikytkenä** (packet switching)
 - dataverkoissa käytetty (ja niille ominaisempi) välityspäiaate
 - kaksi mahdollisuutta
 - **yhteydellinen** (connection oriented) esim. X.25, Frame Relay
 - **yhteydetön** (connectionless) esim. Internet (IP), SS7 (MTP)
- **Solukytkenä** (cell switching)
 - erikoistapaus pakettikytkenästä: kiinteänmittaiset paketit eli **solut** (cell)
 - tarjoaa mahdollisuuden hyvinkin erilaisten liikennevirtojen (kuten puhe, data ja video) integroimiseksi samaan verkkoon (esim. ATM-verkot)

Piirikytkentä (1)

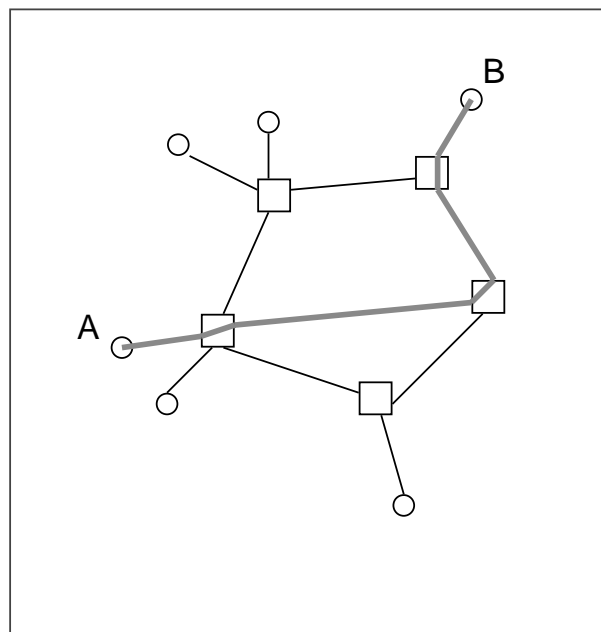
- **Yhteydellinen:**
 - tiedonsiirtoa edeltää **yhteydenmuodostusvaihe**, jonka aikana yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän
 - tarvittavat resurssit **varataan** koko yhteyden keston ajaksi
- Informaation siirto **jatkuvana virtana**



15

Piirikytkentä (2)

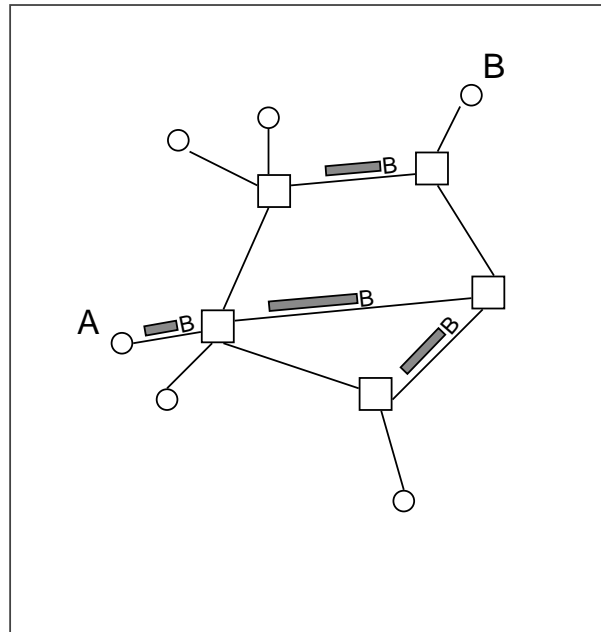
- Ennen informaation siirtoa
 - yhteydenmuodotuksesta aiheutuva viive
- Siirron aikana
 - ei overheadia
 - ei ylimääräisiä viiveitä



16

Yhteydetön pakettikytkentä (1)

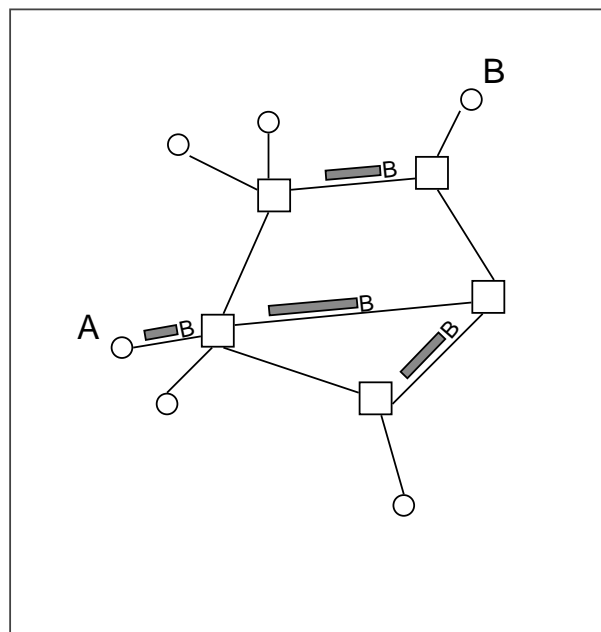
- **Yhteydetön:**
 - ei yhteydenmuodostusta
 - ei resurssien varausta
- **Informaation siirto diskreetteinä paketteina**
 - vaihtelevanmittaisia
 - sisältää otsikon, jossa mm. kohteen globaali osoite



17

Yhteydetön pakettikytkentä (2)

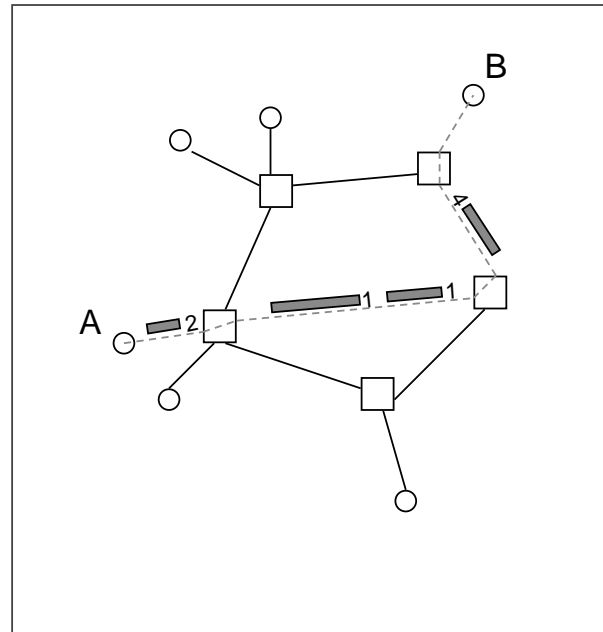
- **Ennen informaation siirtoa**
 - ei viiveitä
- **Siirron aikana**
 - overheadia (otsikkotavut)
 - paketin prosessointiviiveitä
 - jonotusviiveitä (paketit kilpailevat yhteisistä resursseista)



18

Yhteydellinen pakettikytkentä (1)

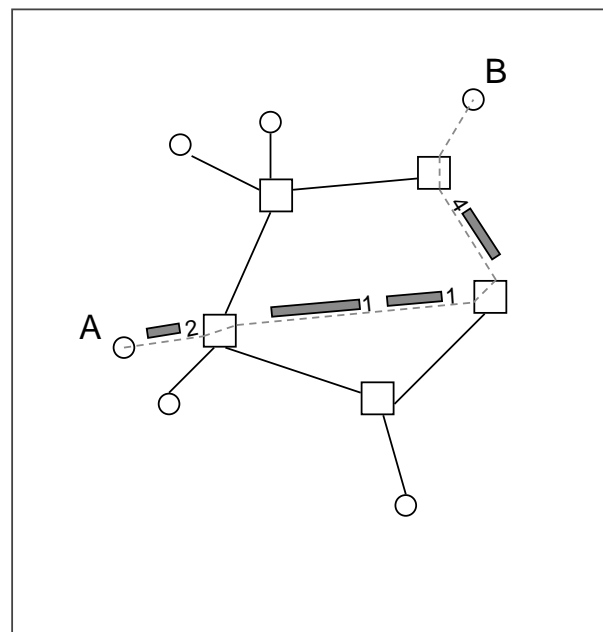
- **Yhteydellinen:**
 - tiedonsiirtoa edeltää **yhteydenmuodostusvaihe**, jonka aikana (virtuaali)yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän
 - ei kuitenkaan resurssien varausta
- Informaation siirto **diskreetteinä paketteina**
 - vaihtelevanmittaisia
 - sisältää otsikon, jossa vain lokaali osoite (loogisen kanavan indeksi)
 - olennaisesti lyhyempi kuin globaali osoite



19

Yhteydellinen pakettikytkentä (2)

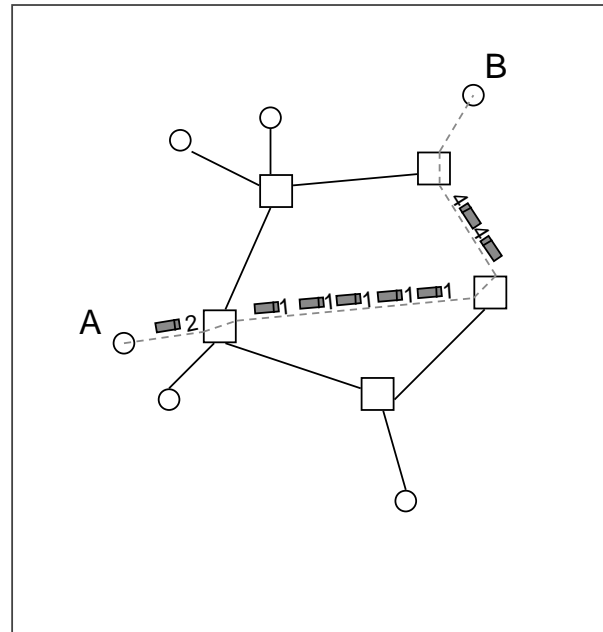
- Ennen informaation siirtoa
 - yhteydenmuodostuksesta aiheutuva viive
- Siirron aikana
 - overheadia (kuitenkin vähemmän kuin yhteydettömässä pakettikytkennässä)
 - paketin prosessointiviiveitä (lyhyemmän osoitteen vuoksi kuitenkin vähemmän)
 - jonotusviiveitä (paketit kilpailevat jälleen yhteisistä resursseista)



20

Solukytkentä (1)

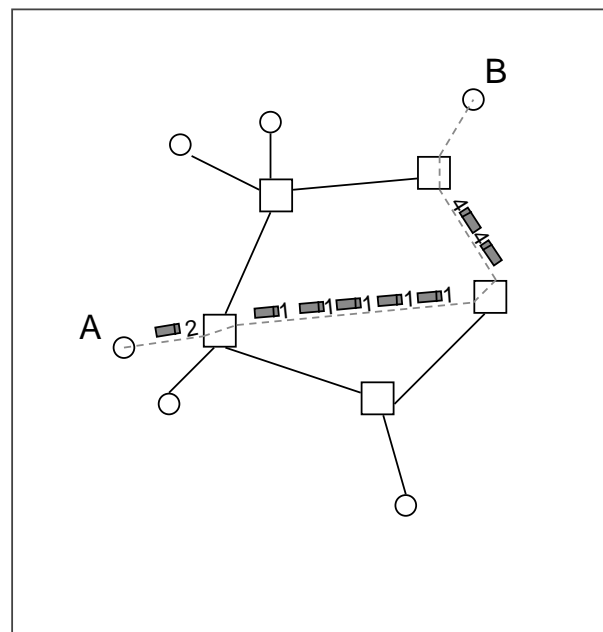
- **Yhteydellinen:**
 - tiedonsiirtoa edeltää **yhteydenmuodostusvaihe**, jonka aikana (virtuaali)yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän
 - resurssien varaus mahdollinen mutta ei pakollinen (palveluluokasta riippuen)
- Informaation siirto **diskreetteinä kiinteänmittaisina paketteina** (eli **soluina**)
 - lyhyitä
 - sisältää otsikon, jossa lokaali osoite (VPI/VCI)



21

Solukytkentä (2)

- Ennen informaation siirtoa
 - yhteydenmuodostuksesta aiheutuva viive
- Siirron aikana
 - overheadia (suhteellisesti jopa enemmän kuin yhteydettömässä pakettikytkennässä)
 - paketin prosessointiviiveitä (kiinteän pituuden ja lyhyemmän osoitteen vuoksi kuitenkin huomattavasti vähemmän)
 - jonotusviiveitä (ellei resursseja ole varattu etukäteen)



22

Välityperiaatteet: yhteenveto

- Piirikytkentä
 - sopii hyvin liikenteelle, jolla tiukka reaaliaikaisuusvaatimus (puhe, RT-video, ...)
 - tehoton vaihtelevannopeuksiselle liikenteelle (VBR) ja datalle
 - läpinäkyvä mutta jäykkä
- Solukytkentä
 - melko joustava
 - verkon resurssien tehokas käyttö
 - pakettien järjestys säilyy
 - reaaliaikatakuut mahdollisia
 - mahdollisuus yhdistää eri tyyppisiä liikennevirtoja
- Yhteydellinen pakettikytkentä
 - melko joustava
 - verkon resurssien tehokas käyttö
 - pakettien järjestys säilyy
 - reaaliaikaisuutta ei voida taata
- Yhteydetön pakettikytkentä
 - joustava ja vikasietoinen
 - verkon resurssien tehokas käyttö
 - pakettien järjestys voi muuttua
 - reaaliaikaisuutta ei voida taata

23

Sisältö

- Tietoliikenneverkot
- Verkkotaso: välityperiaatteet
- Linkkitaso: yhteyksien kanavointi ja keskitys
- Jaetun median yhteiskäyttö

24

Analogiset vs. digitaaliset järjestelmät (1)

- Aiemmin tietoliikenneverkot (so. puhelinverkot) olivat puhtaasti analogisia
 - Ensimmäisenä digitalisoitiin keskusten väliset yhdysjohdot (trunk)
 - Sen jälkeen myös keskuksset
 - Nykyisessä puhelinverkossa itse puhelin ja tilaajajohto ovat vielä (enimmäkseen) analogiseen tekniikkaan perustuvia
 - ISDN ja GSM ovat ensimmäisiä täysin digitalisoituja (päätelaitteet ja tilaajajohto mukaanlukien) "puhelinverkkoja"
- Pakettikytkentäiset verkot ovat aina olleet digitaalisia
 - Lähiverkot (LAN) ovat esimerkkejä täysin digitaalisista pakettikytkentäisistä verkoista
- Solukytkentäinen verkko (esim. ATM) on myös täysin digitaalinen

25

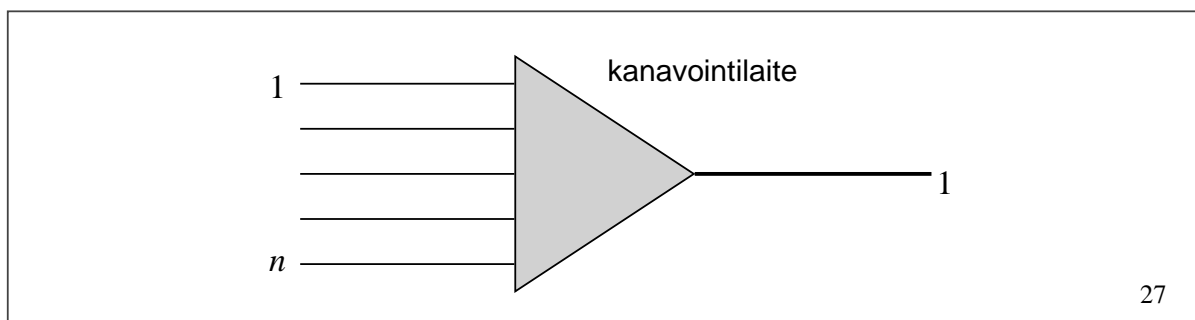
Analogiset vs. digitaaliset järjestelmät (2)

- Analogisissa piirikytkentäisissä järjestelmissä
 - yksi yhteys varaa yhden kanavan tai sen monikerran
 - linkin kapasiteetti n ilmaistaan kanavina
- Digitaalisissa piirikytkentäisissä järjestelmissä
 - yksi yhteys varaa yhden kanavan tai sen monikerran
 - kanavan kapasiteetti ilmaistaan bitteinä sekunnissa (bps, kbps, Mbps, ...)
 - tyypillisesti 64 kbps
 - linkin kapasiteetti voidaan ilmaista kanavina tai bitteinä sekunnissa (jolloin se on jokin kanavanopeuden monikerta)
- Digitaalisissa paketti- ja solukytkentäisissä järjestelmissä
 - yhteys voi varata linkin kapasiteettia **joustavasti** (tai voidaan toimia yhteydettömästi)
 - yhteyden varaama kapasiteetti ilmaistaan bitteinä sekunnissa (bps, kbps, Mbps, ...)
 - linkin kapasiteetti C ilmaistaan bitteinä sekunnissa

26

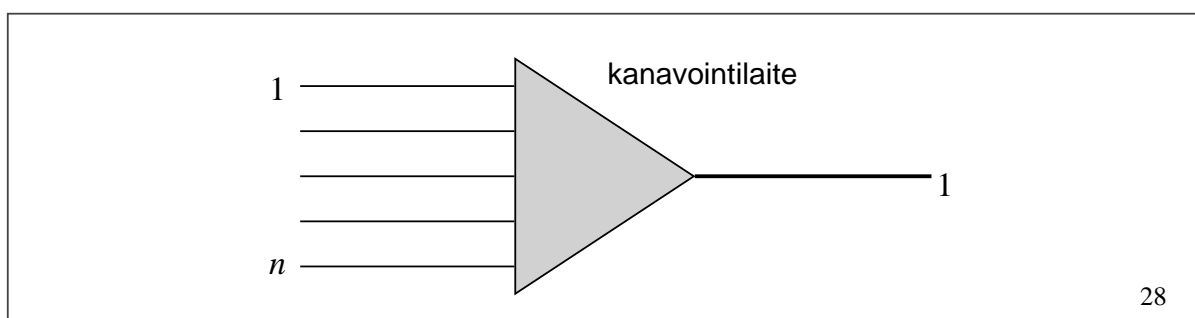
Kanavointitekniikka (1)

- Alunperin puhelinverkossa varattiin kullekin yhteydelle oma fyysinen johto
- **Kanavoinnilla** (multiplexing) linkin kapasiteetti jaetaan useampaan kanavaan
 - jokainen yhteys varaa tyypillisesti yhden kanavan
 - näin saadaan useampi yhteys samalle (fyysiselle) linkille
- Kanavointi toteutetaan **kanavointilaitteella** (multiplexer)



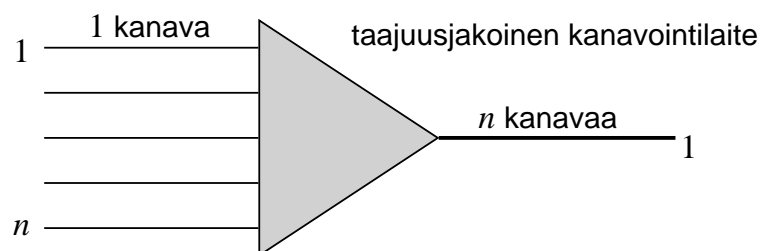
Kanavointitekniikka (2)

- Piiriyhteyksissä verkoissa on käytössä kiinteä kanavointi. Tähän on olemassa kaksi eri periaatetta:
 - **taajuusjakoinen kanavointi** (frequency division multiplexing, FDM)
 - **aikajakoinen kanavointi** (time division multiplexing, TDM)
- Paketti- ja solukytkentäisissä verkoissa käytössä olevaa dynaamista kanavointiperiaatetta kutsutaan nimellä
 - **tilastollinen kanavointi** (statistical multiplexing)



Taajuusjakoinen kanavointi

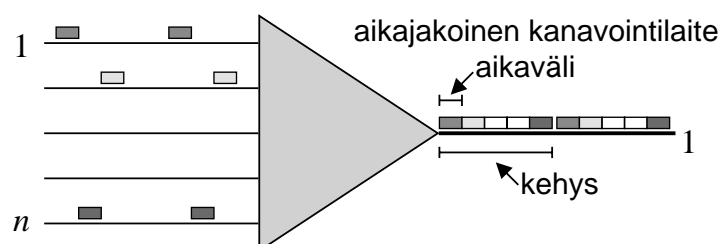
- Taajuusjakoinen kanavointi (FDM)
 - vanhin kanavointitekniikka
 - käytössä analogisissa piiriyhteyksissä verkoissa
 - kullekin kanavalle oma osuus linkin kaistasta (taajuusalueesta)
 - varattu taajuuskaista identifioi yhteyden
- Taajuusjakoinen kanavointilaite on **estoton**:
 - tulopuolella n 1-kanavaista linkkiä
 - lähtöpuolella 1 n -kanavaa linkkiä



29

Aikajakoinen kanavointi

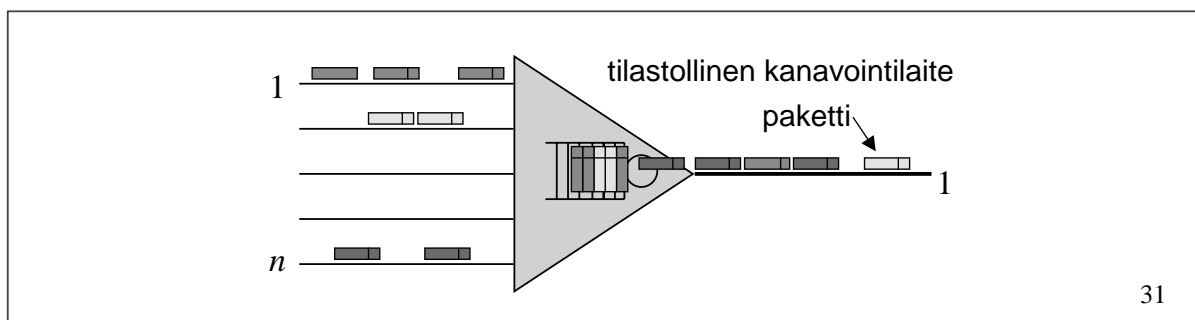
- Aikajakoinen kanavointi (TDM)
 - käytössä digitaalisissa piiriyhteyksissä verkoissa
 - tiedon siirto kiinteäänpituisina kehyksinä, joka jaettu aikaväleihin
 - jokainen aikaväli vastaa yhtä kanavaa
 - varatun aikavälin paikka kehyksessä identifioi yhteyden
- Aikajakoinen kanavointilaite on **estoton**:
 - tulopuolella n 1-kanavaista linkkiä
 - lähtöpuolella 1 n -kanavaa linkkiä



30

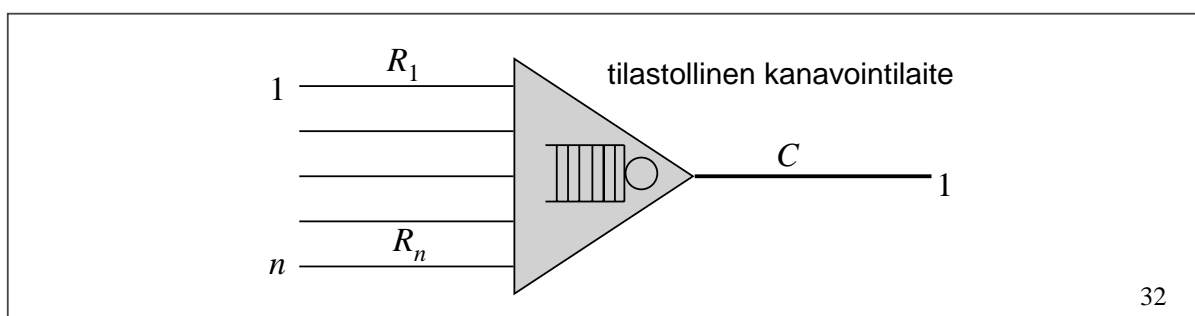
Tilastollinen kanavointi

- Tilastollinen kanavointi
 - käytössä paketti- ja solukytkentäisissä verkoissa (esim. Internet, ATM)
 - tiedon siirto paketteina (vaihtuvan- tai kiinteänmittaisina), joissa yhteyskohtainen otsikko (sisältäen mm. ko. yhteyden tunnusteen)
 - otsikko siis paljastaa, mistä yhteydestä on kysymys
 - eri yhteydet (tarkemmin: kaikki paketit) kilpailevat koko käytettävissä olevasta kaistasta jonotusperiaatteella \Rightarrow tarve puskurointiin



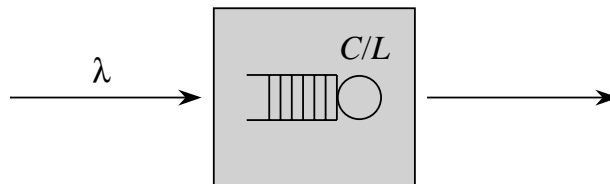
Tilastollinen kanavointilaite

- Tilastollinen kanavointilaite on **estollinen**:
 - tulopuolella n linkkiä kapasiteeteiltaan R_i ($i = 1, \dots, n$)
 - lähtöpuolella 1 linkki kapasiteetiltaan $C \leq R_1 + \dots + R_n$
- On siis mahdollista, että saapuva paketti menetetään
 - paketin menetystodennäköisyyttä voidaan kuitenkin pienentää kasvattamalla puskurin kokoa
 - äärettömän puskurin tapauksessa riittää, että C ylittää yhteen kanavoitavien yhteyksien yhteenlasketun keskimääräisen siirtonopeuden



Tilastollisen kanavointilaitteen mallinnus

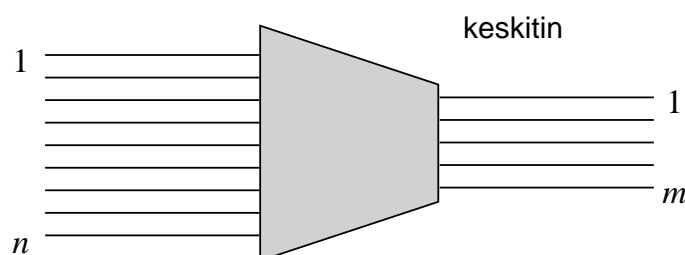
- Tilastollinen kanavointilaitte voidaan mallintaa
 - puhtaana jonotusjärjestelmänä (kuten kuvassa alla), jos puskuri on “iso”
 - sekajärjestelmänä, jos puskuri on “pieni”
- Liikenne koostuu paketeista
 - jokainen paketti lähetetään täydellä nopeudella C
 - merk. L :llä keskimääräistä paketin pituutta
 - pakettien palvelunopeus μ on tällöin $\mu = C/L$
 - stabiilisuusvaatimus (ol. puskuri ääretön): pakettien saapumisnopeus $\lambda < \mu$



33

Keskitys

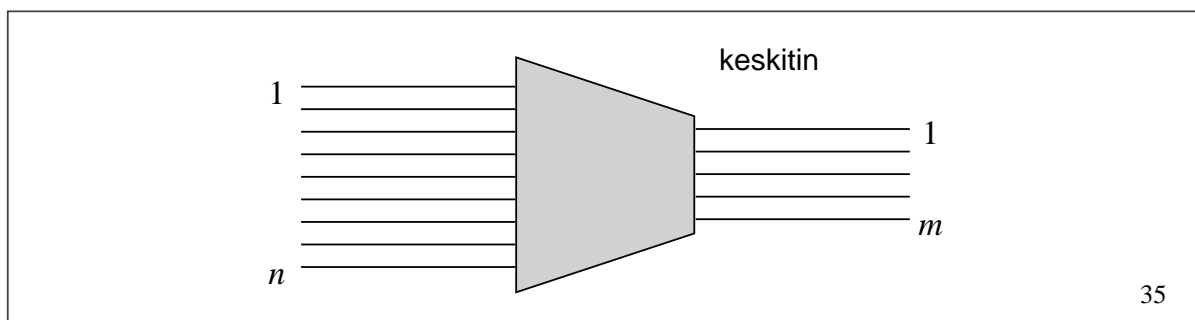
- Keskitys
 - käytössä piirikytkentäisissä verkoissa (sekä analogisissa että digitaalisissa)
 - tyypillisesti liittymäverkon puolella
 - myös keskukset (solmut) toimivat implisiittisesti keskittiminä
 - n 1-kanavaista linkkiä keskitetään m :lle 1-kanavaiselle linkille, missä $m < n$ (tai 1:lle m -kanavaiselle linkille)
 - idea: kaikki n tulopuolen kanavaa ovat **yhtaikaa** käytössä vain hyvin pienellä todennäköisyydellä



34

Keskitin

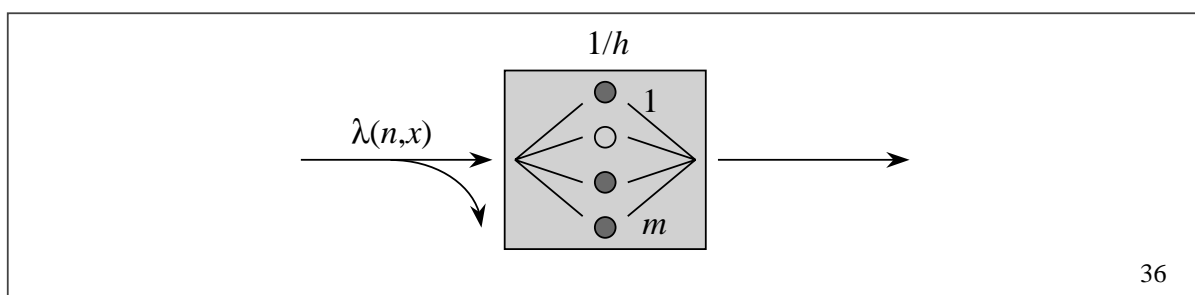
- Keskitin on **estollinen**:
 - tulopuolella n 1-kanavaista linkkiä
 - lähtöpuolella m 1-kanavaista linkkiä ($m < n$)
- Lähtevien kanavien lkm m tulee mitoittaa niin, että kutsuesto (so. tn, että kaikki m kanavaa ovat varattuina uuden kutsun saapuessa) on tarpeeksi pieni
 - toisin sanoen: palvelun laatuvaatimuksen tulee täyttyä



35

Keskittimen mallinnus

- Keskitin voidaan mallintaa
 - $m:n$ palvelijan puhtaana menetysjärjestelmänä (kuten kuvassa alla)
- Liikenne koostuu yhteyksistä
 - liikennettä generoi **äärellinen** määrä (n) lähteitä
⇒ saapumisintensiteetti λ ei ole vakio vaan riippuu lähteiden lkm:stä n ja systeemin tilasta eli varattujen kanavien lkm:stä x : $\lambda = \lambda(n, x)$
 - merk. h :lla keskimääräistä yhteyden pitoaikaa (eli kestoa)
 - palvelunopeus μ on tällöin $\mu = 1/h$



36

Sisältö

- Tietoliikenneverkot
- Verkkotaso: välityspäätteet
- Linkkitaso: yhteyksien kanavointi ja keskitys
- Jaetun median yhteiskäyttö

Matkapuhelinjärjestelmien moniliityntämenetelmät

- Matkapuhelinverkot jakautuvat maantieteellisesti soluihin
 - jokaisella solulla oma tukiasema
- Liityntään käytössä oleva resurssi (taajuuskaista) on jaettu tukiasemakohtaisesti kanaviin
 - järjestelmän käyttäjät (siis ko. tukiaseman alueella olevat) kilpailevat yhteydenmuodostusvaiheessa näistä kanavista
 - dynaamisesta kanavien jaosta eri käyttäjille huolehtii ko. tukiasema (siis täysin **keskitetysti**)
- Käytössä olevia liityntämenetelmiä:
 - **taajuusjakoinen moniliityntä** (frequency division multiple access, FDMA)
 - **aikajakoinen moniliityntä** (time division multiple access, TDMA)
 - **koodijakoinen moniliityntä** (code division multiple access, CDMA)

FDMA ja TDMA

- Taajuusjakoinen moniliityntä (FDMA)
 - käytössä yleisesti analogisissa matkapuhelinverkoissa, esim. NMT
 - verkon käyttämä taajuusalue jaettu kaistoihin (kanaviin)
 - jokainen yhteys varaa yhden kanavan
 - samanaikaiset yhteydet käyttävät siis eri taajuuskaistoja
 - vrt. taajuusjakoinen kanavointi (FDM)
- Aikajakoinen moniliityntä (TDMA)
 - käytössä digitaalisissa matkapuhelinverkoissa, esim. GSM
 - tieto siirretään kehyksinä, joka jaettu aikaviipaleisiin (kanaviin)
 - jokainen yhteys varaa yhden kanavan
 - samanaikaiset yhteydet käyttävät siis samaa taajuusaluetta mutta eri aikaviipaleita
 - taajuuskaistan suhteen tehokkaampi kuin FDMA
 - vrt. aikajakokanavointi (TDM)

CDMA

- Koodijakoinen moniliityntä (CDMA)
 - käytössä digitaalisissa matkapuhelinverkoissa, esim. IS-95 (USA)
 - samaa taajuuskaistaa käyttävät radiolähetykset koodataan siten, että tietylle vastaanottajalle tarkoitetut signaalit voidaan ottaa vastaan vain ko. vastaanottimessa (muille ne näyttävät kohinalta)
 - jokainen koodi vastaa yhtä kanavaa
 - jokainen yhteys varaa yhden kanavan
 - samanaikaiset yhteydet käyttävät siis samaa taajuusaluetta mutta eri koodeja
 - voidaan yleensä sijoittaa enemmän kanavia samalle taajuusalueelle kuin FDMA- ja TDMA-tekniikalla
 - tosin CDMA-järjestelmän kapasiteetti on elastinen suure (toisin kuin FDMA- ja TDMA-järjestelmissä):
 - mitä enemmän koodeja (kanavia), sitä enemmän ne häiritsevät toisiaan

Matkapuhelinjärjestelmien moniliitynnän mallinnus

- Kaikki edellä mainitut moniliityntämenetelmät (FDMA, TDMA, CDMA) voidaan mallintaa **puhtaina menetysjärjestelminä**
- Liikenne muodostuu kutsuista
 - joko täysin uusia yhteyspyyntöjä (fresh call) tai sitten toisen tukiaseman alueelta siirtyviä yhteyksiä (handover)
 - tuoreitten kutsujen malliksi käy Poisson-prosessi, mutta miten pitäisi mallintaa siirtyvät kutsut
 - asiakkaan palveluaika on täysi yhteyden pitoaika vain siinä tapauksessa, että ko. käyttäjä ei poistu ko. tukiaseman alueelta yhteyden aikana
 - muussa tapauksessa asiakkaan palvelu loppuu heti, kun ko. käyttäjä on siirtynyt toisen tukiaseman alueelle
 - uutena piirtenä on siis otettava huomioon käyttäjien **liikkuvuuden mallinnus**
- Järjestelmän kapasiteetti eli rinnakkaisten kanavien lkm taas riippuu
 - käytössä olevasta taajuuskaistasta sekä
 - käytetystä moniliityntämenetelmästä

41

Lähiverkkojen moniliityntämenetelmät

- Tietokoneiden välinen lähiverkko (local area network, LAN) välittää paketteja verkkoon kytkettyjen asemien välillä
 - asemat kilpailevat tästä jaetusta resurssista aina yrittäessään lähettää paketteja
 - kerralla ko. resurssi on aina kokonaisuudessaan yhden aseman käytössä
 - dynaaminen resurssin jako tapahtuu yleensä täysin **hajautetusti** kilpavarausperiaatteella
- Käytössä olevia liityntämenetelmiä:
 - **satunnaisliityntä** (random access): ALOHA, Slotted ALOHA
 - **kuulostelu yhdistettynä törmäysten havaitsemiseen** (carrier sense multiple access /collision detection, CSMA/CD): Ethernet, IEEE 802.3
 - **valtuutuksen välitys väylässä** (Token Bus): IEEE 802.4
 - **valtuutuksen välitys renkaassa** (Token Ring): IEEE 802.5

42

Satunnaisliityntä

- Asemat lähettävät paketteja **täysin** toisistaan riippumatta aina kun tarvetta ilmenee
 - törmäyksiä ei pyritä ennaltaehkäisemään
 - teoreettinen maksimiläpäisy alle 20% (LAN:in nimelliskapasiteetista)
 - esim. ALOHA (alunperin käytössä satelliittilinkeissä)
- Jos oletetaan, että paketin pituus on kiinteä, kannattaa aika jakaa yhden paketin lähetyksajan pituisiin viipaleisiin (so. lähetyksaajien synkronointi)
 - teoreettinen maksimiläpäisy voidaan kaksinkertaistaa
 - esim. Slotted ALOHA

Satunnaisliitynnän analyysi (1)

- Oletetaan, että asemat generoivat kiinteän pituisia paketteja Poisson-prosessin mukaan intensiteetillä ν
- Merk. T :llä paketin lähetykseen kuluvaa aikaa
 - Stabilisuusvaatimus: $\nu < 1/T$
- Paketit törmäävät toisiinsa, mikäli niiden lähtöhetkien väli $< T$
 - Törmänneet paketit lähetetään satunnaisen ajan kuluttua uudestaan (ja uudelleenlähetyksiä jatketaan niin kauan kunnes paketin lähetyksen lopulta onnistuu)
- Approksimoidaan näin muodostunutta pakettien kokonaisvirtaa edelleen Poisson-prosessilla (mikä ei taatusti pidä paikkaansa tarkkaan ottaen), jonka intensiteettiä merkitään λ :lla ($\lambda > \nu$)
 - Stabilisuusvaatimus: $\lambda < 1/T$

Satunnaisliitynnän analyysi (2)

- Tarkastellaan asemaa, joka on lähettämässä uutta pakettia hetkellä 0
 - Törmäystä ei tapahdu, mikäli aikavälillä $(-T, +T)$ ei yritetä lähettää muita paketteja
 - Tehdyn Poisson-approksimaation nojalla onnistuneen lähetyksen t_n on siis $\exp(-2\lambda T)$
- Näin ollen, läpäisyksi v tulee $v = \lambda \cdot \exp(-2\lambda T)$
 - Tämä on suurimmillaan, kun λ :lla on arvo $\lambda_{\max} = 1/(2T)$
 - Vastaava liikennekuorma on $\lambda_{\max} T = 1/2 = 50\%$
- Teoreettinen maksimiläpäisy v_{\max} on siis
 - $v_{\max} = \lambda_{\max} \cdot \exp(-2\lambda_{\max} T) = 1/(2eT) \approx 0.184/T \approx 20\% (1/T)$

Satunnaisliitynnän analyysi (3)

- Tarkastellaan sitten aikaviipaloitua systeemiä, missä paketit lähetetään täsmälleen T :n pituisissa aikaviipaleissa
 - Tässä systeemissä paketit törmäävät toisiinsa, mikäli ne ovat saapuneet samassa aikavälissä
- Tarkastellaan asemaa, joka on lähettämässä uutta pakettia hetkellä 0
 - Törmäystä ei tapahdu, mikäli aikavälillä $(-T, 0)$ ei ole saapunut muita paketteja
 - Tehdyn Poisson-approksimaation nojalla onnistuneen lähetyksen t_n on siis $\exp(-\lambda T)$
- Näin ollen, läpäisyksi v tulee $v = \lambda \cdot \exp(-\lambda T)$
 - Tämä on suurimmillaan, kun λ :lla on arvo $\lambda_{\max} = 1/T$
 - Vastaava liikennekuorma on $\lambda_{\max} T = 1 = 100\%$
- Teoreettinen maksimiläpäisy v_{\max} on siis
 - $v_{\max} = \lambda_{\max} \cdot \exp(-\lambda_{\max} T) = 1/(eT) \approx 0.368/T \approx 40\% (1/T)$

Sanastoa

- tietoliikenneverkko = telecommunication network
- solmu = node
- linkki = link
- liityntäverkko = access network
- runkoverkko = trunk network = core network = backbone
- pisteestä-pisteeseen = point-to-point
- jaettu media = shared medium
- moniliityntä = multiple access
- lähiverkko = local area network
- silmikoitu = meshed
- täydellisesti kytketty = fully meshed
- välitys = switching
- piirikytkentä = circuit switching
- pakettikytkentä = packet switching
- solukytkentä = cell switching
- yhteydellinen = connection-oriented
- yhteydetön = connectionless
- kanavointi = multiplexing
- kanavointilaite = multiplexer
- taajuusjakoinen = frequency division
- aikajakoinen = time division
- tilastollinen = statistical
- keskitys = concentration
- keskitin = concentrator
- koodijakoinen = code division

THE END

