



## 2. Esimerkkejä eri järjestelmien mallintamisesta (osa 1)

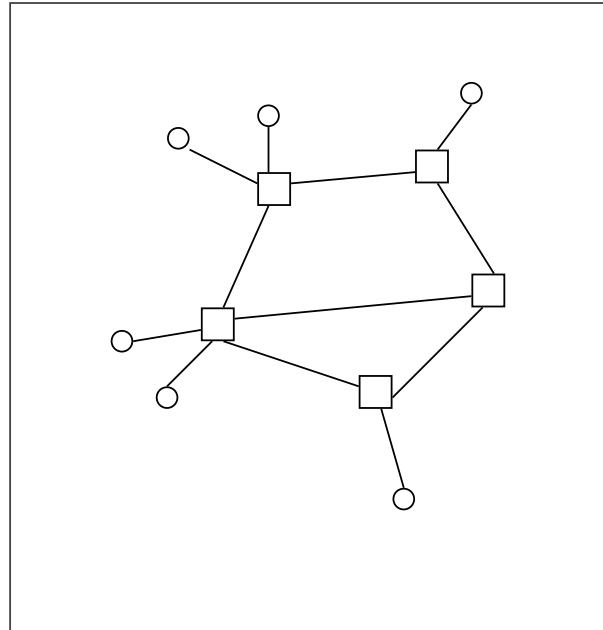
### 2. Esimerkkejä eri järjestelmien mallintamisesta (osa 1)

#### Sisältö

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

## Tietoliikenneverkot

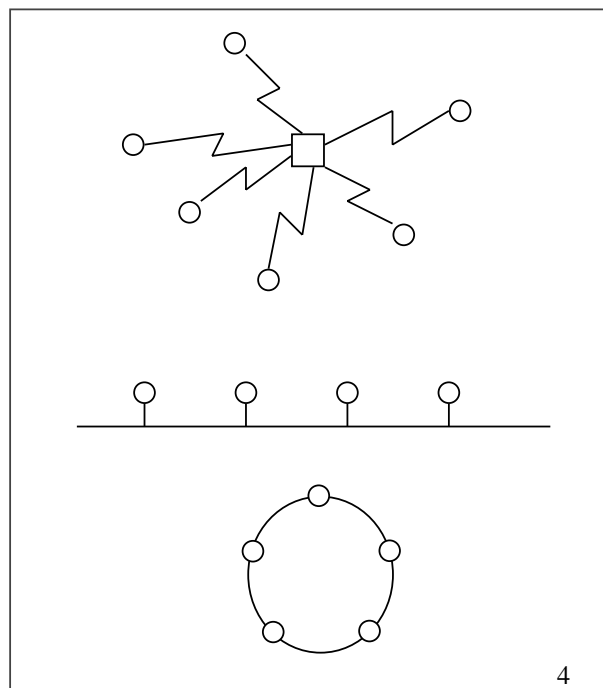
- Yksinkertainen tietoliikenneverkon malli koostuu
  - **solmuista** (node)
    - päätelaitteet ○
    - verkon solmut □
  - solmujen välisistä **linkeistä** (link)
- **Liityntäverkko** (access network)
  - päätelaitteita verkon (reunalla oleviin) solmuihin yhdistävä osa tietoliikenneverkosta
- **Runkoverkko**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



3

## Jaettu media liityntäverkkona

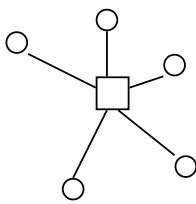
- Edellisen kalvon mallissa,
  - päätelaitteiden ja verkon solmujen väliset yhteydet oletetaan **pisteestä-pisteeseen** tyyppisiksi (⇒ resursseja jaetaan vain ruoverkon puolella)
- Joissakin tapauksissa, kuten
  - matkapuhelinverkko
  - lähiverkkoliityntäverkko muodostuu **jaetusta mediasta**:
  - käyttäjien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



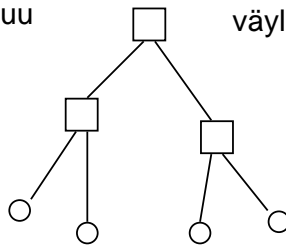
4

## Verkon topologia

tähti



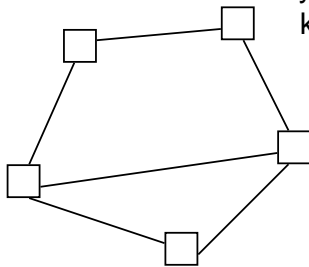
puu



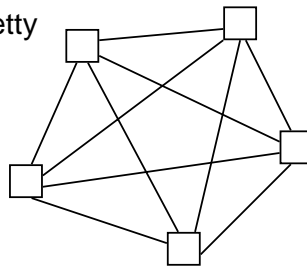
väylä



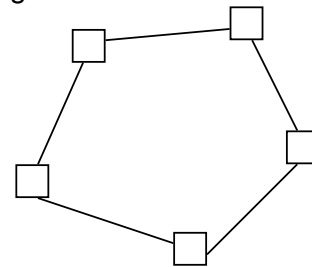
silmikoitu



täydellisesti  
kytketty



renkas



## Verkon hierarkia

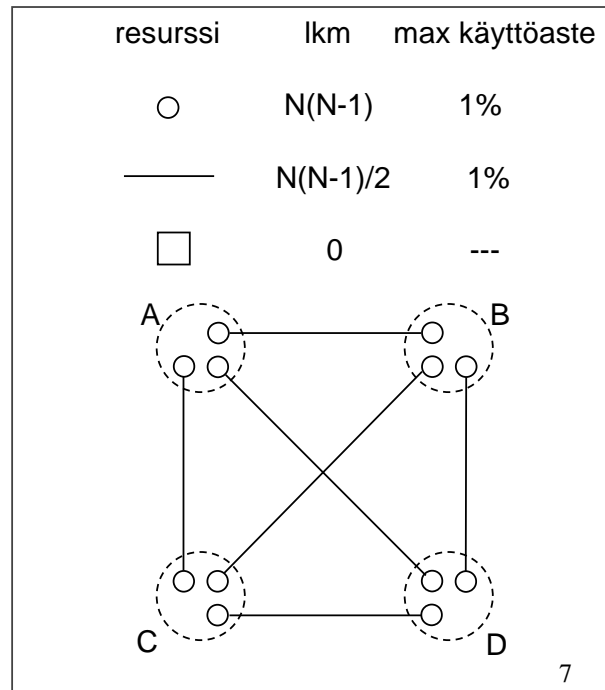
- Tietoliikenneverkot ovat tyypillisesti hierarkkisia sisältäen eri tasoja
  - litteät topologiat (vain yksi taso)
  - hierarkkiset topologiat (monta tasoa)
- Eräs luonnollinen hierarkiajako:
  - liityntä- vs. runkoverkko
- Perinteisesti puhelinverkossa:
  - monta tasoa (esim. AT&T:llä 5 tasoa)
- Nykyinen 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:
 

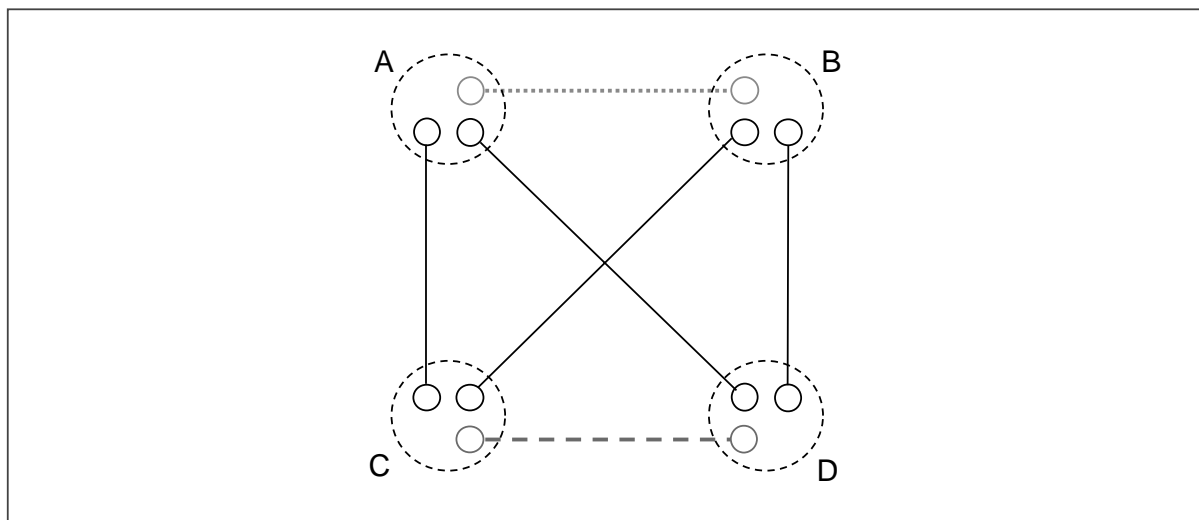
**Erillisverkot**

  - 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

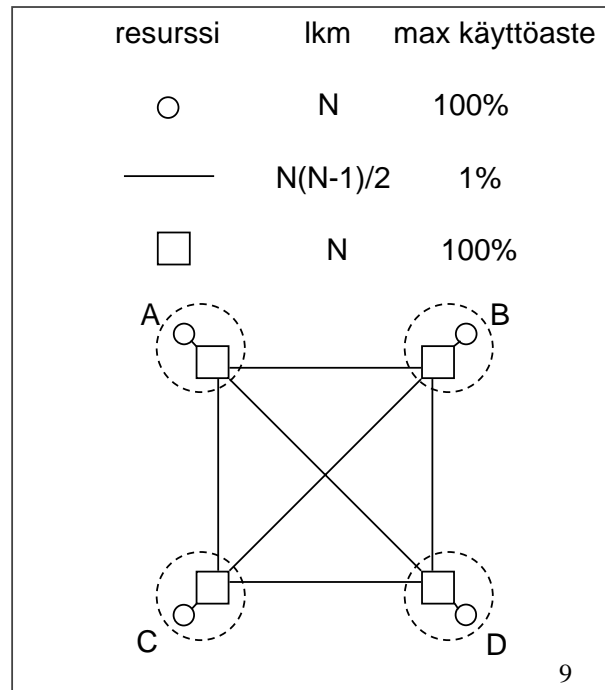


## Esimerkki: Miksi verkkoja?(3)

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

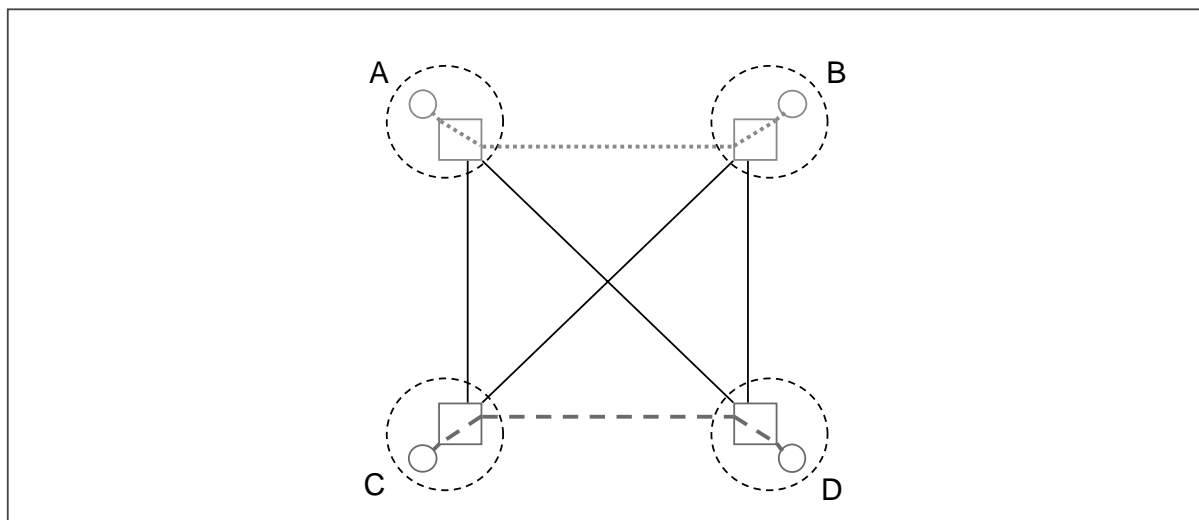
**Täydellisesti kytketty verkko**

  - 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

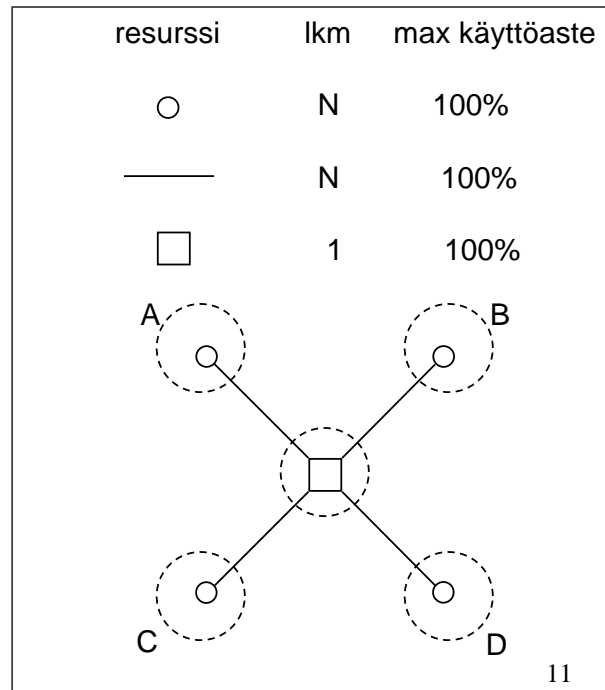


## Esimerkki: Miksi verkkoja?(5)

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

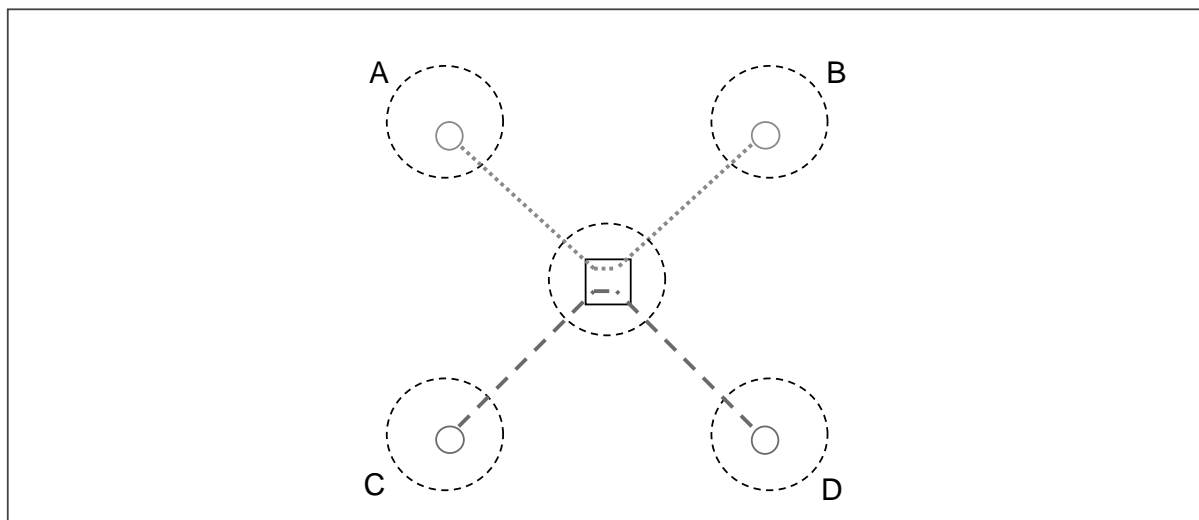
**Tähtimäinen verkko**

  - 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

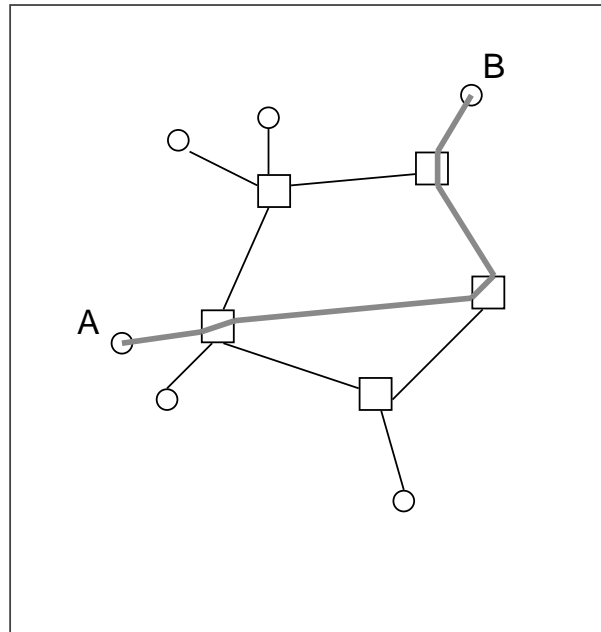
- Tietoliikenneverkot
- Verkkotaso: välityspäiaatteet
- Linkkitaso: yhteyksien kanavointi ja keskitys
- Jaetun median yhteiskäyttö

## 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
- **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)

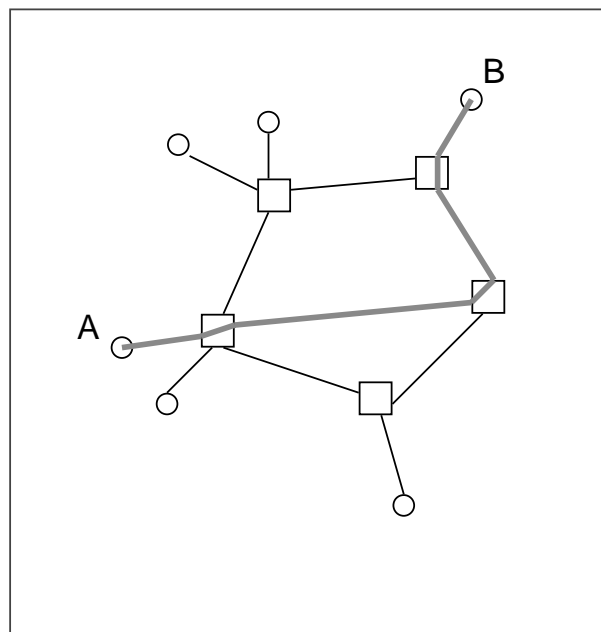
- **Yhteydellinen:**
  - tiedonsiirtoa edeltää **yhteydenmuodostusvaihe**, jonka aikana yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän
  - tarvittavat resurssit **varataan** koko yhteyden keston ajaksi
- Informaation siirto **jatkuvana virtana**



15

## Piirikytkentä (2)

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

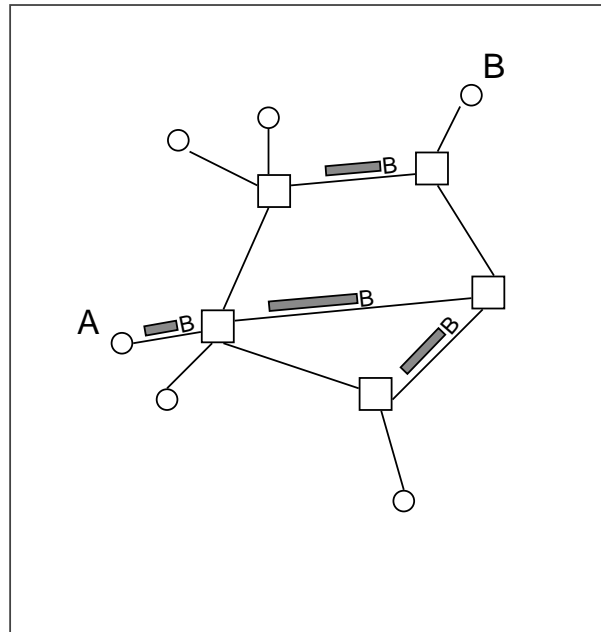


16



## Yhteydetön pakettikytkentä (1)

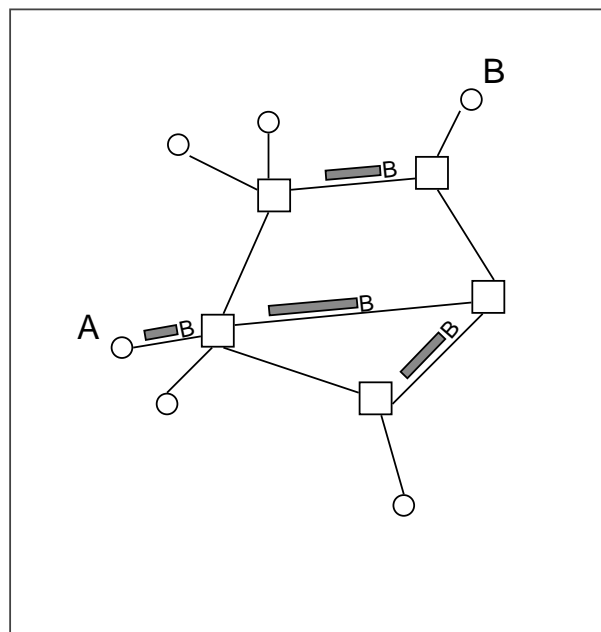
- **Yhteydetön:**
  - ei yhteydenmuodostusta
  - ei resurssien varausta
- **Informaation siirto diskreetteinä paketteina**
  - vaihtelevanmittaisia
  - sisältää otsikon, jossa mm. kohteen globaali osoite



17

## Yhteydetön pakettikytkentä (2)

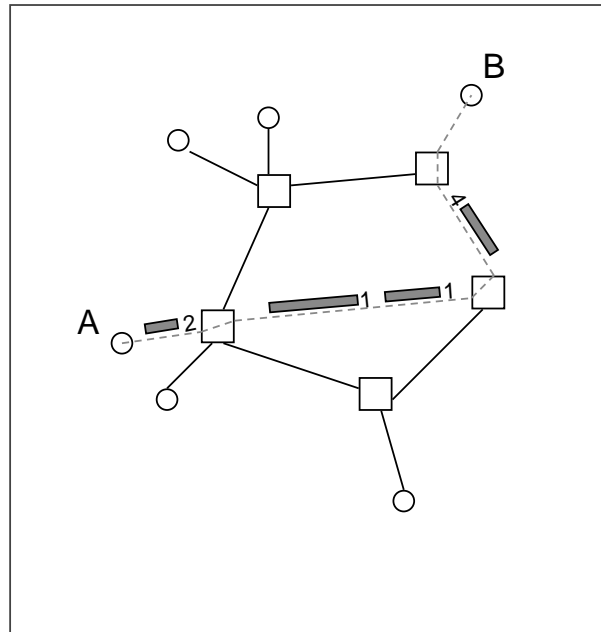
- **Ennen informaation siirtoa**
  - ei viiveitä
- **Siirron aikana**
  - overheadia (otsikkotavut)
  - paketin prosessointiviiveitä
  - jonotusviiveitä (paketit kilpailevat yhteisistä resursseista)



18

## Yhteydellinen pakettikytkentä (1)

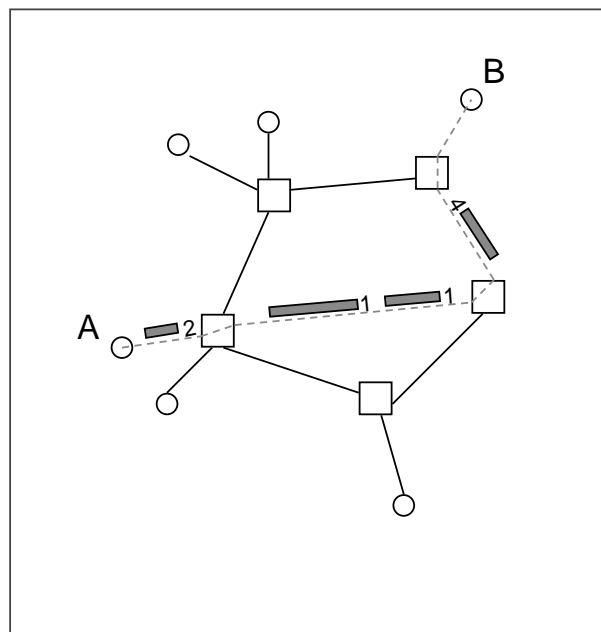
- **Yhteydellinen:**
  - tiedonsiirtoa edeltää **yhteydenmuodostusvaihe**, jonka aikana (virtuaali)yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän
  - ei kuitenkaan resurssien varausta
- Informaation siirto **diskreetteinä paketteina**
  - vaihtelevanmittaisia
  - sisältää otsikon, jossa vain lokaali osoite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



19

## Yhteydellinen pakettikytkentä (2)

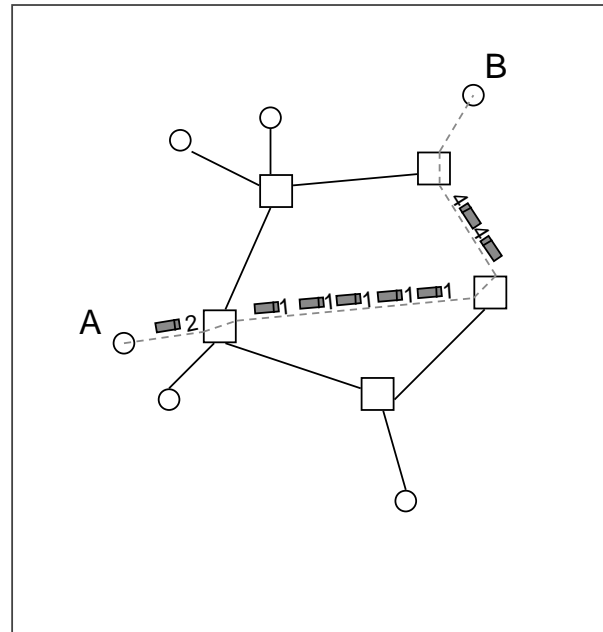
- Ennen informaation siirtoa
  - yhteydenmuodotuksesta aiheutuva viive
- Siirron aikana
  - overheadia (kuitenkin vähemmän kuin yhteydettömässä pakettikytkennässä)
  - paketin prosessointiviiveitä (lyhyemmän osoitteen vuoksi kuitenkin vähemmän)
  - jonotusviiveitä (paketit kilpailevat jälleen yhteisistä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



20

## Solukytkentä (1)

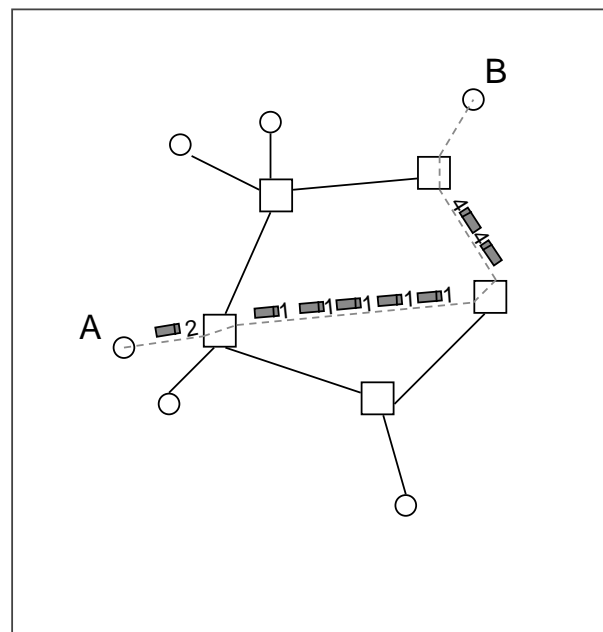
- **Yhteydellinen:**
  - tiedonsiirtoa edeltää **yhteydenmuodostusvaihe**, jonka aikana (virtuaali)yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän
  - resurssien varaus mahdollinen mutta ei pakollinen (palveluluokasta riippuen)
- Informaation siirto **diskreetteinä kiinteänmittaisina paketteina** (eli **soluina**)
  - 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
  - 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
- Verkkotasoinen välityperiaatteet
- Linkkitasoinen 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 analogiseen tekniikkaan perustuvia (enimmäkseen)
  - 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

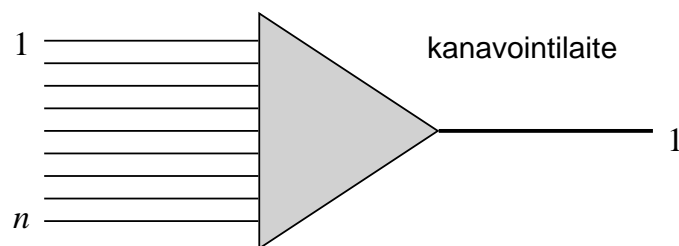
## Analogiset vs. digitaaliset järjestelmät (2)

- 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)

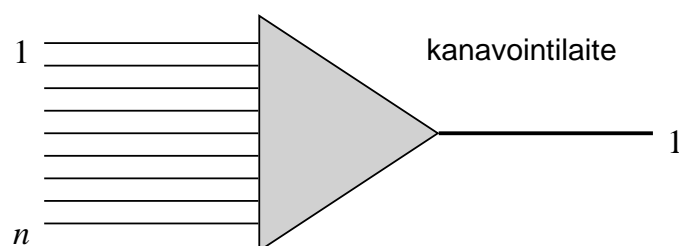
- Alunperin puhelinverkossa varattiin kullekin yhteydelle oma fyysinen johto
- **Kanavoinnilla** (multiplexing) linkin kapasiteetti jaetaan useampaan kanavaan
  - jokainen yhteys varaa tyypillisesti yhden kanavan
  - näin saadaan useampi yhteys samalle (fyysiselle) linkille
- Kanavointi toteutetaan **kanavointilaitella**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



27

## Kanavointitekniikka (2)

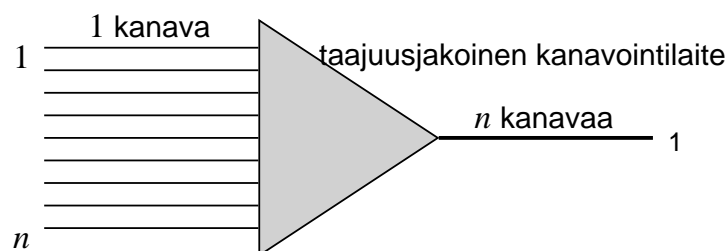
- Piirikytkentäisissä verkoissa on käytössä kiinteä kanavointi. Tähän on olemassa kaksi eri periaatetta:
  - **taajuusjakoinen kanavointi** (frequency division multiplexing, FDM)
  - **aikajakoinen kanavointi** (time division multiplexing, TDM)
- Paketti- ja solukytkentäisissä verkoissa käytössä olevaa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



28

## Taajuusjakoinen kanavointi

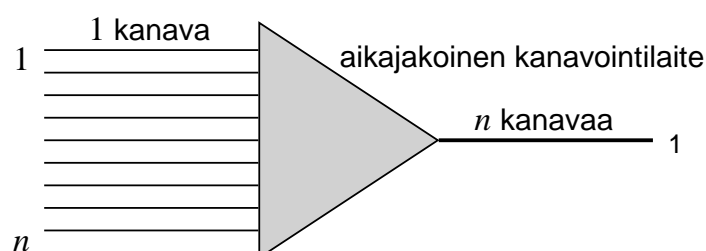
- Taajuusjakoinen kanavointi (FDM)
  - vanhin kanavointitekniikka
  - käytössä analogisissa piiriyhteyksissä verkoissa
  - kullekin kanavalle oma osuus linkin kaistasta (taajuusalueesta)
  - varattu taajuuskaista identifioi yhteyden
- Taajuusjakoinen kanavointilaite on **estoton**:
  - tulopuolella 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



29

## Aikajakoinen kanavointi

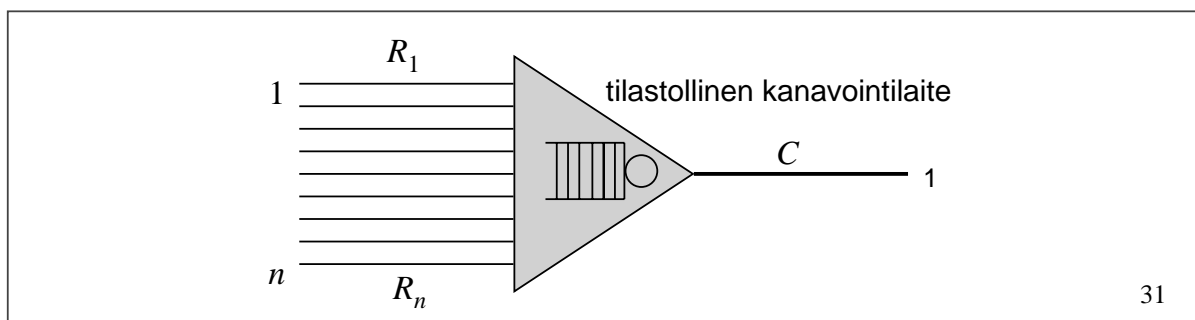
- Aikajakoinen kanavointi (TDM)
  - käytössä digitaalisissa piiriyhteyksissä verkoissa
  - tiedon siirto kiinteän pituisina kehyksinä, joka jaettu aikaväleihin
  - jokainen aikaväli vastaa yhtä kanavaa
  - varatun aikavälin paikka kehyksessä identifioi yhteyden
- Aikajakoinen kanavointilaite on **estoton**: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



30

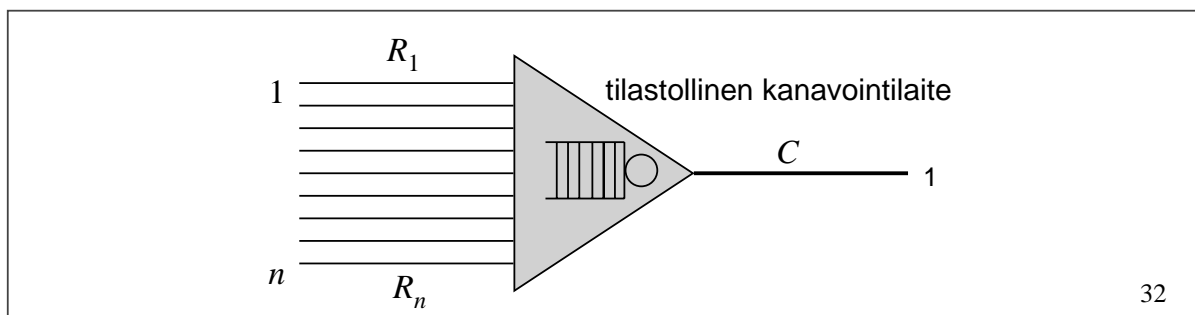
## Tilastollinen kanavointi

- 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

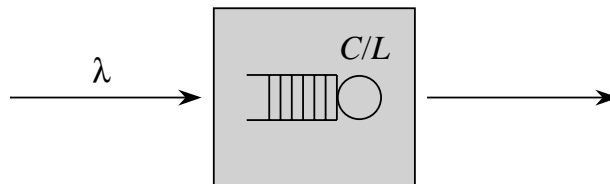
- Tilastollinen kanavointilaite on **estollinen**:
  - tulopuolella  $n$  linkkiä kapasiteeteiltaan  $R_i$  ( $i = 1, \dots, n$ )
  - lähtöpuolella 1 linkki kapasiteetiltaan  $C \leq R_1 + \dots + R_n$
- On siis mahdollista, että saapuva paketti menetetään
  - paketin menetystodennäköisyyttä voidaan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





## Tilastollisen kanavointilaitteen mallinnus

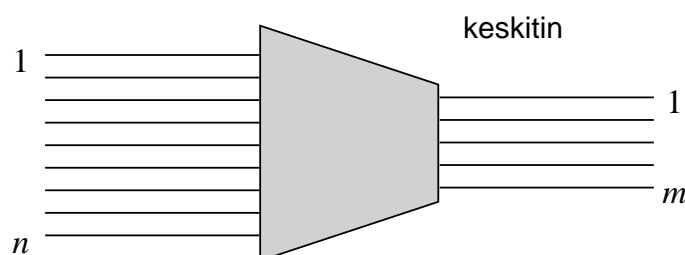
- Tilastollinen kanavointilaitte voidaan mallintaa
  - puhtaana jonotusjärjestelmänä (kuten kuvassa alla), jos puskuri on “iso”
  - sekajärjestelmänä, jos puskuri on “pieni”
- Liikenne koostuu paketeista
  - jokainen paketti lähetetään täydellä nopeudella  $C$
  - merk.  $L$ :llä keskimääräistä paketin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



33

## Keskitys

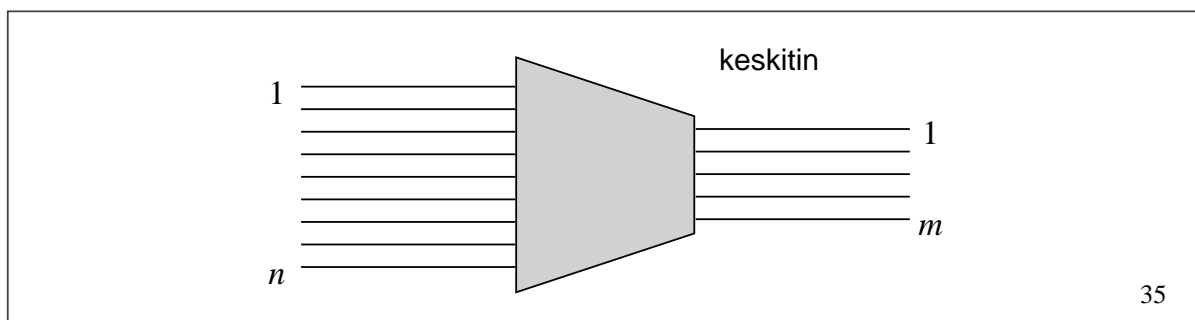
- Keskitys
  - käytössä piiriyhteyksissä verkoissa (sekä analogisissa että digitaalisissa)
    - tyypillisesti liittymäverkon puolella
    - myös keskuskeskukset (solmut) toimivat implisiittisesti keskittiminä
  - $n$  1-kanavaista linkkiä keskitetään  $m$ :lle 1-kanavaiselle linkille ( $m < n$ )
  -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



34

## Keskitin

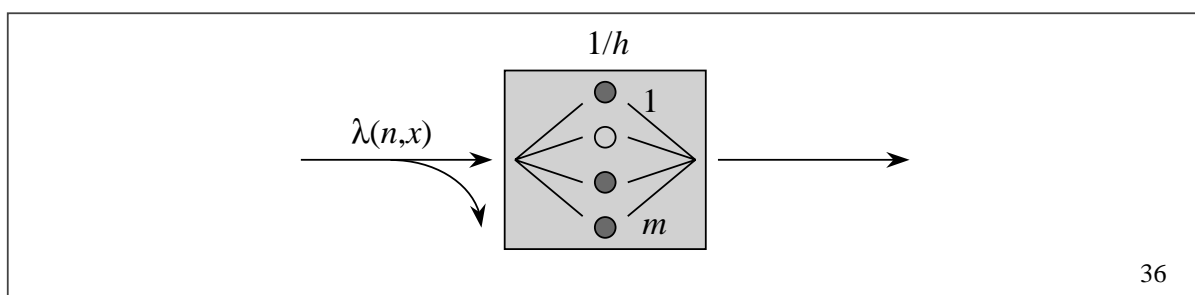
- Keskitin on **estollinen**:
  - tulopuolella  $n$  1-kanavaista linkkiä
  - lähtöpuolella  $m$  1-kanavaista linkkiä ( $m < n$ )
- Lähtevien kanavien lkm  $m$  tulee mitoittaa niin, että kutsuesto (so. tn, että kaikki  $m$  kanavaa ovat varattuina uuden kutsun saapuessa) on tarpeeksi pieni
  - toisin 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  $\lambda$  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  $\mu$  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 radiolähteykset koodataan siten, että tietyille 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 estojärjestelminä**
- 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 kiinteänpituisia paketteja Poisson-prosessin mukaan intensiteetillä  $\nu$
- 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 pakettien lähetyks lopulta onnistuu)
- Approksimoidaan näin muodostunutta pakettien kokonaisvirtaa edelleen Poisson-prosessilla (mikä ei taatusti pidä paikkaansa tarkkaan ottaen), jonka intensiteettiä merkitään  $\lambda$ :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  $\lambda$ :lla on arvo  $\lambda_{\max} = 1/(2T)$
  - Vastaava liikennekuorma on  $\lambda_{\max} T = 1/2 = 50\%$
- Teoreettinen maksimiläpäisy  $v_{\max}$  on siis
  - $v_{\max} = \lambda_{\max} \cdot \exp(-2\lambda_{\max} T) = 1/(2eT) \approx 0.184/T \approx 20\% (1/T)$

45

## 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  $\lambda$ :lla on arvo  $\lambda_{\max} = 1/T$
  - Vastaava liikennekuorma on  $\lambda_{\max} T = 1 = 100\%$
- Teoreettinen maksimiläpäisy  $v_{\max}$  on siis
  - $v_{\max} = \lambda_{\max} \cdot \exp(-\lambda_{\max} T) = 1/(eT) \approx 0.368/T \approx 40\% (1/T)$

46

## 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

