



2. Liikenne

Sisältö

- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

Tarjottu vs. kuljetettu liikenne

- **Tarjottu** liikenne (offered traffic)
 - alkuperäinen liikenne sellaisena kuin se syntyy liikennelähteessä
- **Kuljetettu** liikenne (carried traffic)
 - liikenne sellaisena kuin miksi se verkossa muokkaantuu

Kuljetetun liikenteen karakterisointi

- Piirikytkeytyn verkon hetkellisen liikenteen karakterisointi
 - käynnissä olevien yhteyksien/kutsujen/puhelujen lukumääränä (erl)
 - digitaalisissa järjestelmissä voidaan muuntaa bittivirraksi
 - esim. PCM-järjestelmässä puhelu varaa 64 kbps (= $8000 \cdot 8$ bps)
- Pakettikytketyn verkon hetkellisen liikenteen karakterisointi
 - bittivirtana (bps, kbps, Mbps, Gbps, ...)
 - pakettivirtana (pps)
 - aktiivisten voiden lukumääränä (erl)

Liikenteen mittayksiköt

- Vanhaan hyvään analogia-aikaan (puhelin)liikennettä mitattiin
 - **erlangeina** (erl)
 - yhden erlangin liikenne vastaa yhtä varattua kanavaa eli yhtä käynnissä olevaa puhelua
- Nykyisellä digitaaliaikakaudella (data)liikennettä mitataan
 - **bitteinä sekunnissa** (bps)
 - paketteina sekunnissa (pps)
- Huom:
 - 1 tavu = 8 bittiä
 - 1 kbps = 1 kbit/s = 1,000 bittiä sekunnissa
 - 1 Mbps = 1 Mbit/s = 1,000,000 bittiä sekunnissa
 - 1 Gbps = 1 Gbit/s = 1,000,000,000 bittiä sekunnissa

Liikenteen vaihtelu eri aikaskaaloissa (1)

- **Ennustettavat vaihtelut:**
 - **Trendikehitys** (vuosia)
 - liikenteen määrän kasvu:
 - olemassaolevat palvelut: käyttäjien määrän kasvu, käyttötottumuksen muutokset, tariffien muutokset
 - uudet palvelut
 - Vuosittainen kausivaihtelu: **vuosiprofiili** (kuukausia)
 - Viikkorytmiin liittyvät vaihtelut: **viikkoprofiili** (päiviä)
 - Päivärytmiin liittyvät vaihtelut: **päiväprofiili** (tunteja)
 - sisältäen kiiretunnin
 - **Ulkoisista tapahtumista** johtuvat ennustettavat vaihtelut
 - säännölliset: esim. joulukuukausi
 - epäsäännölliset: esim. puhelinäänestykset

Liikenteen vaihtelu eri aikaskaaloissa (2)

- **Satunnaiset** vaihtelut:
 - **Lyhyen aikavälin** satunnaisvaihtelut (sekunteja - minuutteja)
 - toisistaan riippumattomien käyttäjien käyttäytymiseen liittyvät vaihtelut
 - satunnaiset kutsujen, pakettien, voiden saapumiset
 - satunnaiset kutsujen pitoajat, pakettien ja voiden pituudet
 - **Pitkän aikavälin** satunnaisvaihtelut (tunteja - ...)
 - satunnaiset vaihtelut päivä-, viikko-, vuosiprofiilin ympärillä
 - jokainen päivä, viikko, ... on erilainen
 - **Ulkoisten tapahtumien** aiheuttamat satunnaisvaihtelut
 - esim. maanjäristykset ja muut luonnonmullistukset
- Huom:
 - Tavanomaisilla liikenneteoreettisilla malleilla pyritään kuvaamaan nimenomaan **lyhyen aikavälin satunnaisvaihteluita**

Kiiretunti (1)

- Verkon mitoittaminen suurimman milloinkaan esiintyvän liikennehuipun varalle ei ole tarkoituksenmukaista
- Puhelinverkoissa mitoitusta varten kehitetty (laskennallinen) liikenteen huippua kuvaava suure on ns. **kiiretunnin** (busy hour) **liikenne**

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

- tämä määritelmä on yksikäsitteinen vain yksittäisille päiville
- mitoitusta varten pitää tarkastella useamman päivän keskiarvoa
- Mitoitukseen sopivien keskimääräisten arvojen määrittämiseksi suosituksissa (ITU) on erilaisia määritelmiä:
 - ADPH (Average Daily Peak Hour)
 - TCBH (Time Consistent Busy Hour)

Kiiretunti (2)

- Let
 - N = mittauspäivien lkm (esim. $N = 10$)
 - $a_n(\Delta)$ = liikenteen keskim. voimakkuus mittauspäivän n aikavälillä Δ
 - $\max_{\Delta} a_n(\Delta)$ = huipputunnin liikenne mittauspäivänä n
- Kiiretunnin liikenne a eri menetelmillä laskettuna:

$$a_{\text{ADPH}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \max_{\Delta} a_n(\Delta)$$

$$a_{\text{TCBH}} = \max_{\Delta} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_n(\Delta)$$

- Selvästikin

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

Demo: Funet

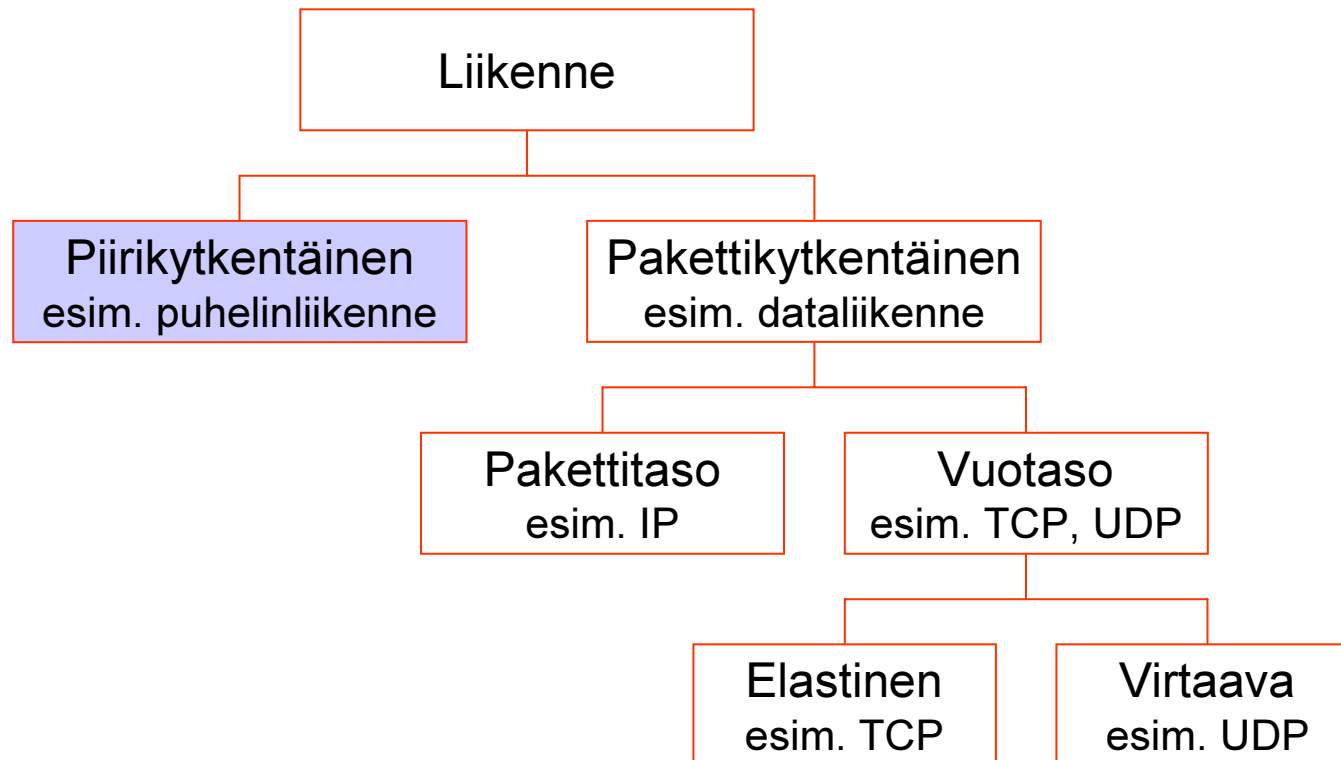
- Vuorokausivaihtelu
 - päivä vs. yö
 - huippuliikenne, ”kiiretunti”
 - reitityksen muutokset?
- Viikkovaihtelu
 - arkipäivät vs. viikonloppu
- Kuukausivaihtelu
 - poikkeuspäivät: esim. joulupäivä
- Vuosivaihtelu
- Pitemmän ajan trendi?

<http://www.csc.fi/suomi/funet/verkko.html.fi>
<http://www.csc.fi/suomi/funet/noc/looking-glass/wm>

Sisältö

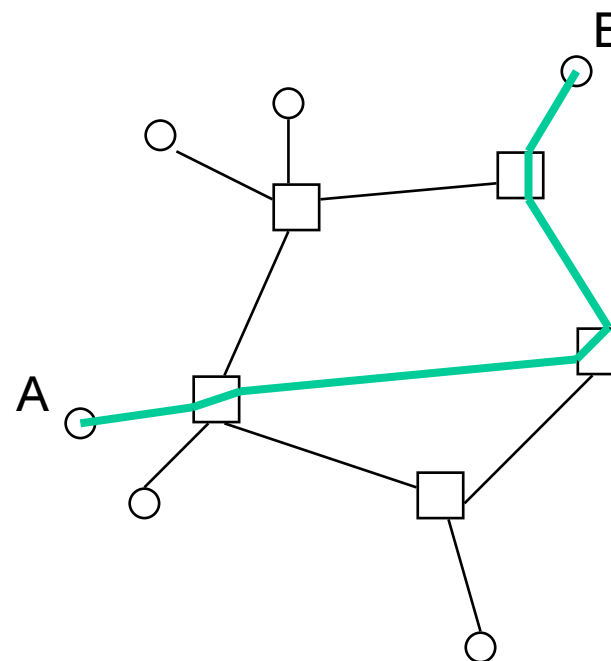
- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

Liikenteen luokittelu



Puhelinverkko

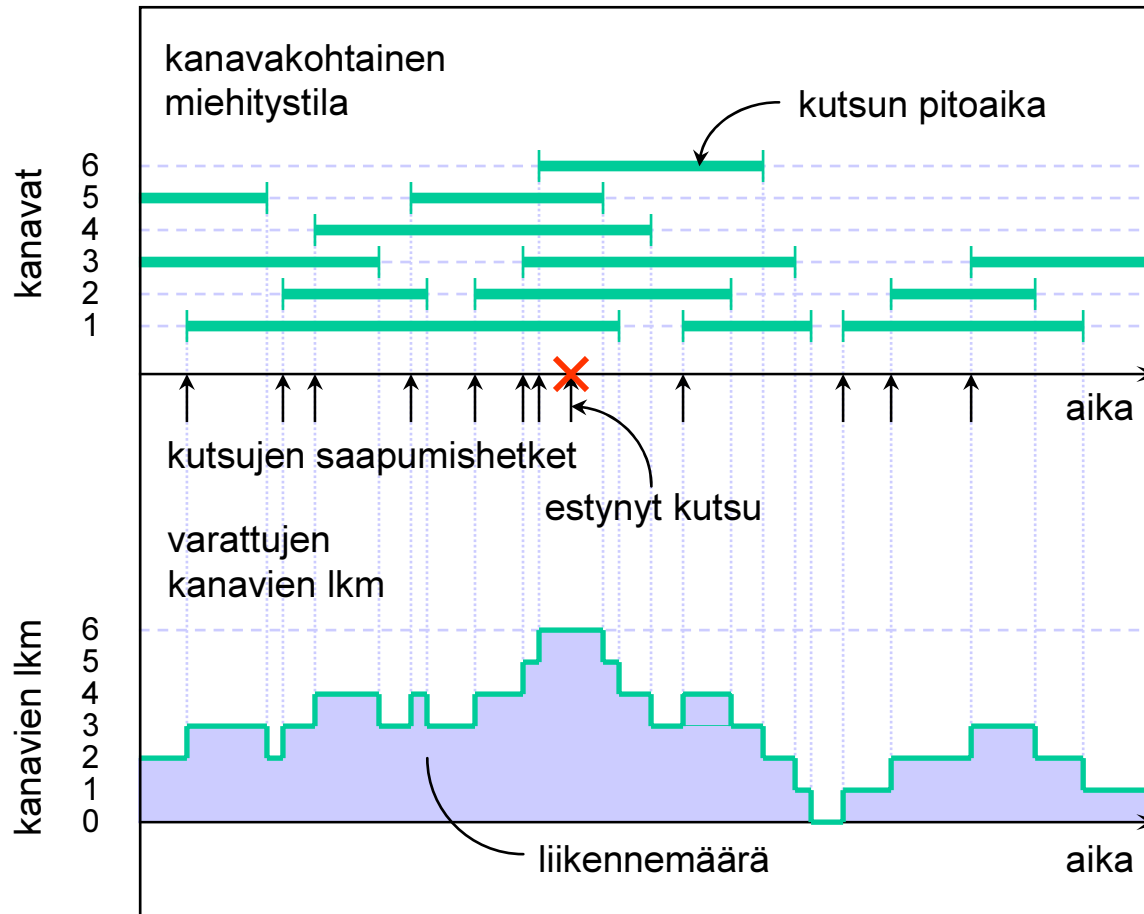
- Yhteydellinen:
 - tiedonsiirtoa edeltää yhteydenmuodostusvaihe, jonka aikana yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän valittua reittiä pitkin
 - tarvittavat resurssit (so. kiinteä kanava kaikilta reittiin kuuluvilta linkeiltä) varataan koko yhteyden keston ajaksi
 - jos resursseja ei ole tarjolla, yhteyttä ei synny, ts. kutsu estyy
- Informaation siirto jatkuvana virtana



Puhelinliikenteen malli

- Puhelinliikenne koostuu **kutsuista** (call)
 - kutsu varaa yhden kanavan kullakin reittinsä varrelta olevalta linkiltä
 - kutsun karakterisointi: **kesto** eli **pitoaika** (holding time)
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
 - **kutsujen saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia puheluita yritetään käynnistää)
 - **kutsujen pitoaikajakauma** (miten kauan kestävät)
- Linkki mallinnetaan puhtaana **menetysjärjestelmänä**
 - yksittäinen palvelija vastaa yhtä kanavaa
 - palvelijan palvelunopeus riippuu **keskimääräisestä pitoajasta**
 - palvelijoiden lukumäärä n riippuu **linkin kapasiteetista**
 - kun kaikki kanavat ovat täynnä, **pääsynvalvonta** (call admission control) huolehtii, ettei uusia kutsuja hyväksytä, vaan ne estyvät
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
 - **liikenneprosessi** kertoo montako puhelua on yhtäaikaan käynnissä
= montako kanavaa on yhtäaikaan varattuna

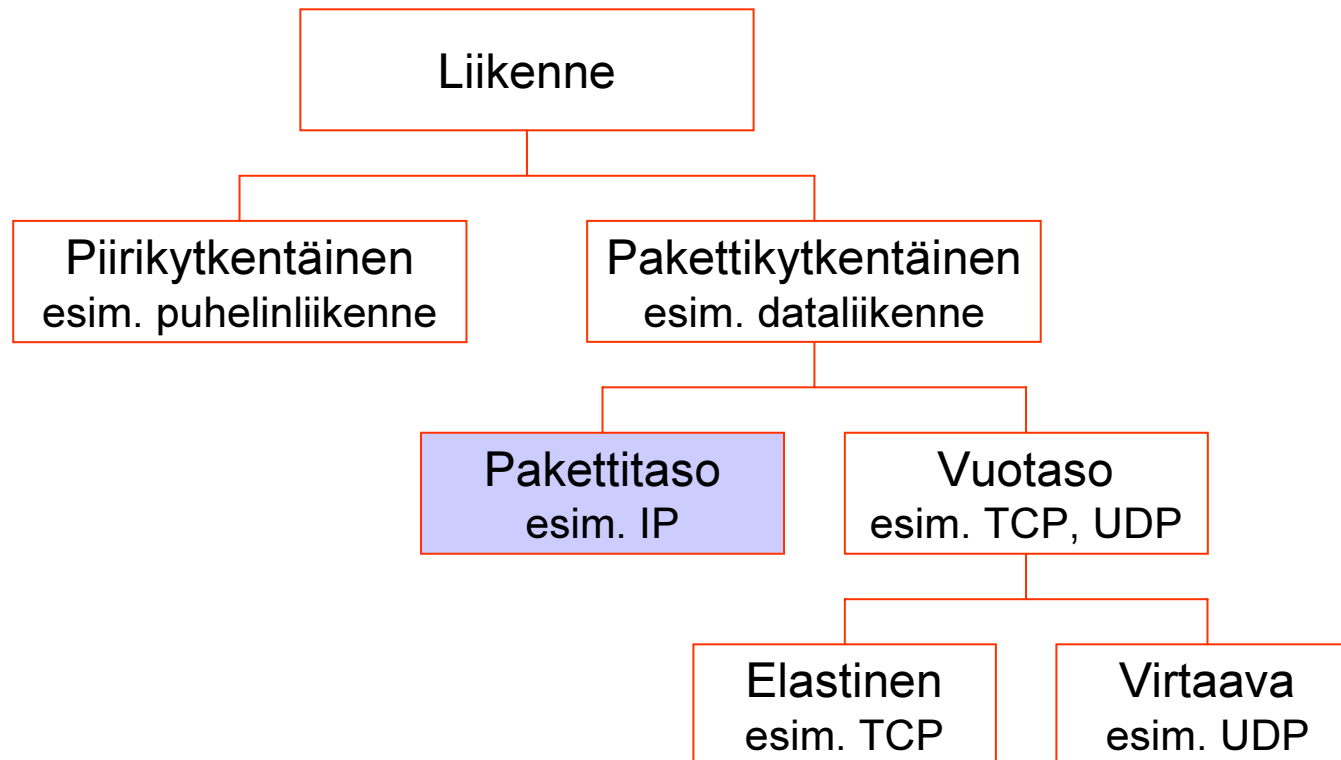
Liikenneprosessi



Sisältö

- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

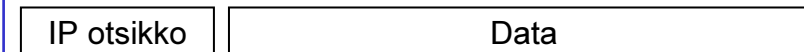
Liikenteen luokittelu



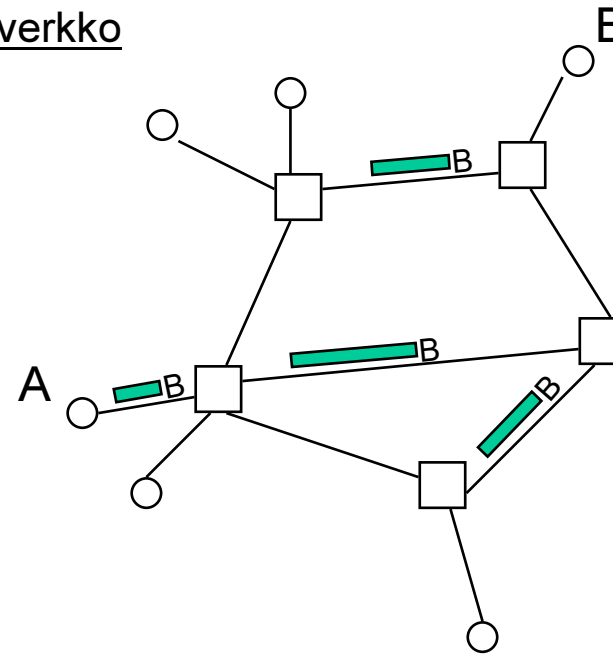
Verkkokerros IP-verkoissa

- **IP** = Internet Protocol
- Yhteydetön:
 - ei yhteydenmuodostusta
 - ei resurssien varausta
- Informaation siirto diskreetteinä paketteina
- **Best Effort** –palvelumalli
 - verkon solmut, reitittimet, toimittavat paketteja eteenpäin “parhaan kykynsä mukaan”
 - paketteja saattaa kadota, ne voivat viivästyä, tai niiden järjestys saattaa muuttua
⇒ “älykkyys” implementoitava verkon reunalle/päätelaitteisiin

IP-paketti



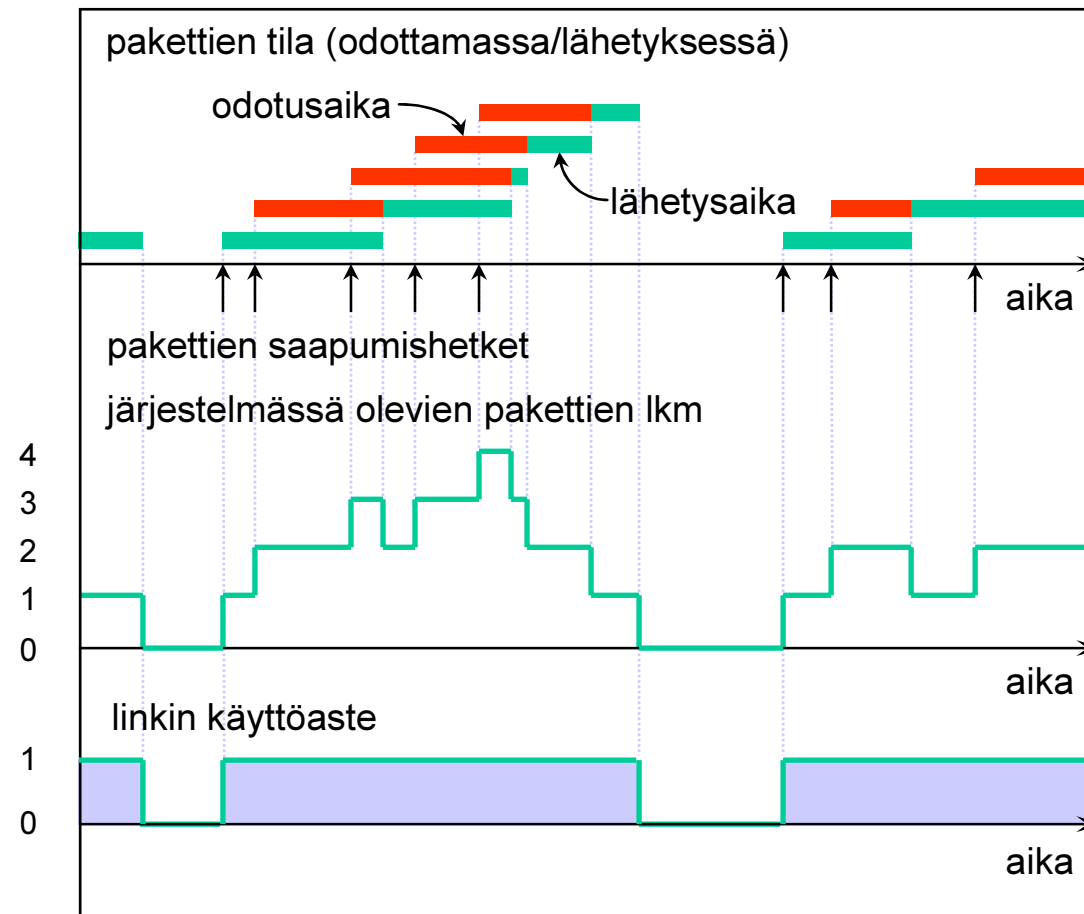
IP-verkko



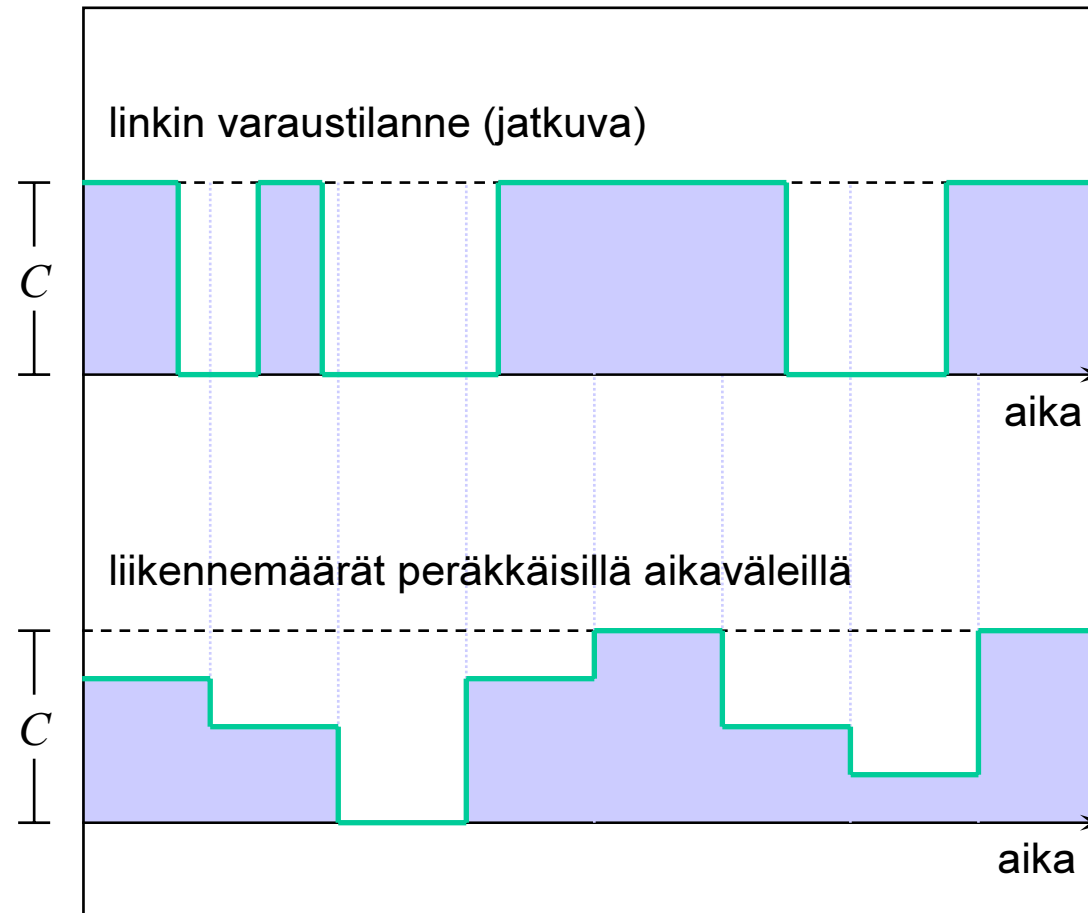
Pakettitason malli dataliikenteelle

- Dataliikenne koostuu lyhyessä aikaskaalassa **paketeista** (packet)
 - verkon resursseja ei varata etukäteen, vaan paketit kilpailevat niistä jonotusperiaatteella (tilastollinen kanavointi)
 - paketin karakterisointi: **pituus** (length)
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
 - **pakettien saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia paketteja saapuu)
 - **pakettien pituusjakauma** (miten pitkiä ovat)
- Linkki mallinnetaan **yhden palvelijan jonotusjärjestelmänä**
 - palvelijan palvelunopeus riippuu **linkin kapasiteetista ja keskimääräisestä paketin pituudesta**
 - jos linkki on varattuna uuden paketin saapuessa, se jää puskuriin odottamaan, jos siellä on tilaa, tai katoaa, jos tilaa ei ole
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
 - **liikenneprosessi** kertoo järjestelmässä olevien pakettien lkm:n

Pakettitason liikenneprosessi (1)



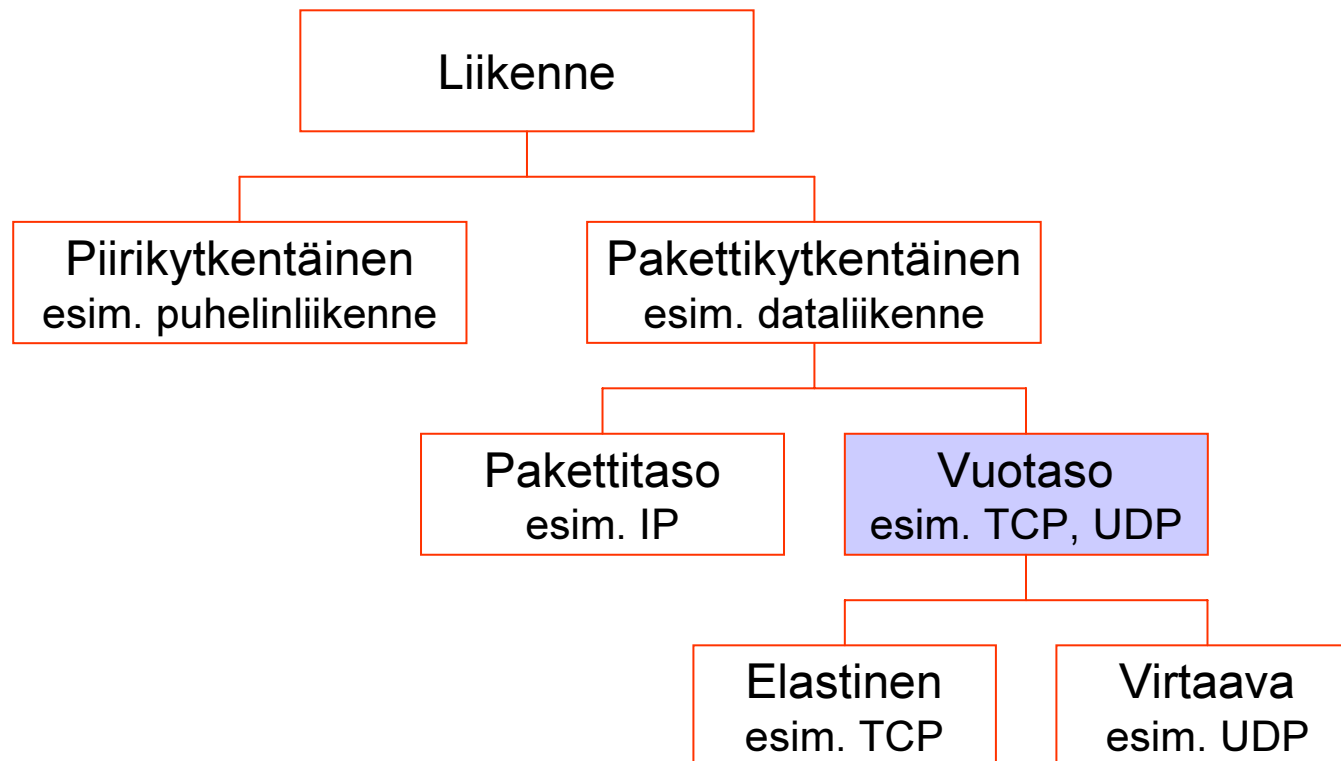
Pakettitason liikenneprosessi (2)



Sisältö

- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

Liikenteen luokittelu



Kuljetuskerros IP-verkoissa

- Verkkokerroksen (IP) päällä on **kuljetuskerros** (transport layer)
 - hoitaa IP-pakettien käsittelyn päätelaitteissa
 - toimii siis **päästä-päähän** (end-to-end)
- Tärkeimmät kuljetuskerroksen protokollat:
 - **TCP** = Transmission Control Protocol
 - lähetysnopeus sopeutuu vallitsevaan liikennetilanteeseen ruuhkanhallintamekanismilla
 - soveltuu ei-reaaliaikaiselle liikenteelle, erityisesti digitaalisten dokumenttien siirtoon
 - **UDP** = User Datagram Protocol
 - lähetysnopeus ei riipu verkossa vallitsevasta liikennetilanteesta
 - soveltuu erityisesti transaktioille (interaktiiviselle liikenteelle, jossa siirrettävät sanomat tyypillisesti lyhyitä)
 - soveltuu myös (paremman puutteessa) reaaliaikaiselle liikenteelle, jolloin UDP:n päällä tarvitaan vielä muita protokollia, esim. RTP

TCP

- **TCP** = Transmission Control Protocol
 - **yhteydellinen** kuljetuskerroksen päästä-päähän protokolla
 - luotettava tavuvirran siirto yhteydettömän IP-kerroksen päällä
 - pakettien perillemeno oikeassa järjestyksessä varmistetaan kuittauksin ja uudelleenlähetyksin
 - liikenteen valvontaan kehitetty oma vuonohjaus/ruuhkanhallintamenettely
 - perustuu **adaptiivisen liukuvan ikkunan** käyttöön
 - **vuonohjaus** (flow control): estää ylikuormittamasta vastaanottajan
 - vastaanottaja kertoo, montako tavua valmis vastaanottamaan
 - **ruuhkanhallinta** (congestion control): estää ylikuormittamasta verkon
 - lähteen on itse pääteltävä, milloin verkko on ruuhkainen
 - tällaisen signaalin antaa **paketin katoaminen**: paketin kadotessa ikkunaa pienennetään, muutoin sitä kasvatetaan pikkuhiljaa (verkon tilan tunnistelemiseksi)

IP otsikko	TCP otsikko	Data
------------	-------------	------

UDP

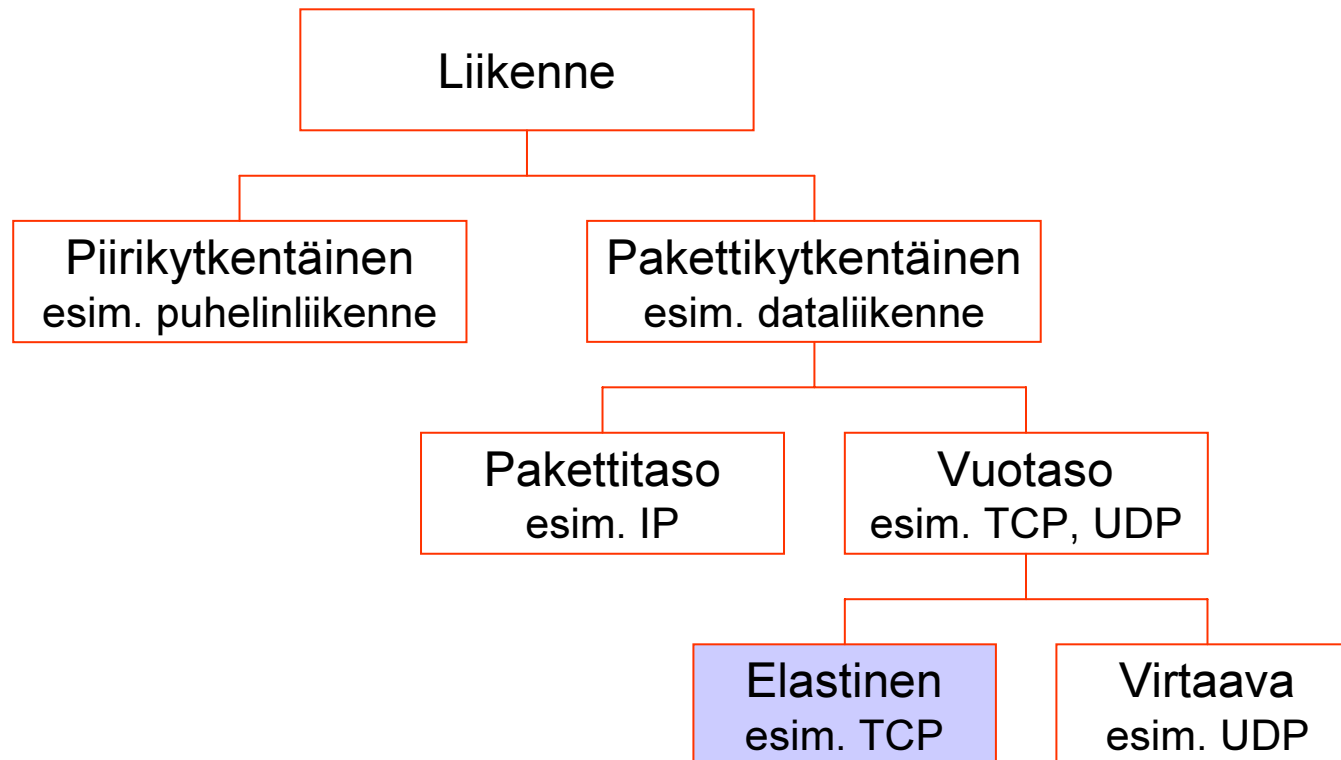
- **UDP** = User Datagram Protocol
 - **yhteydetön** kuljetuskerroksen päästä-päähän protokolla
 - IP:n päällä vain multipleksointipalvelu
 - ei takeita pakettien perillemenosta (siis epäluotettava)
 - ei vuonohjausta: voi ylikuormittaa vastaanottajan
 - ei ruuhkanhallintaa: voi ylikuormittaa verkon



Dataliikenne vuotasolla

- Pitemmässä aikaskaalassa dataverkon liikenteen voidaan ajatella koostuvan **voista** (flow)
 - yksittäinen vuo kuvataan **jatkuvana bittivirtana**, jonka **nopeus** voi vaihdella (eikä siis diskreettinä pakettivirtana)
- Voiden luokittelu:
 - **Elastiset vuot** (elastic flows)
 - lähetysnopeus sopeutuu vallitsevaan liikennetilanteeseen ruuhkanhallintamekanismilla
 - esim. digitaalisten dokumenttien siirto (HTTP,FTP,...) **TCP**:llä
 - **Virtaavat vuot** (streaming flows)
 - lähetysnopeus ei riipu verkossa vallitsevasta liikennetilanteesta
 - esim. reaaliaikaiset ääni-, audio- ja videoyhteydet **UDP**:llä siirrettynä

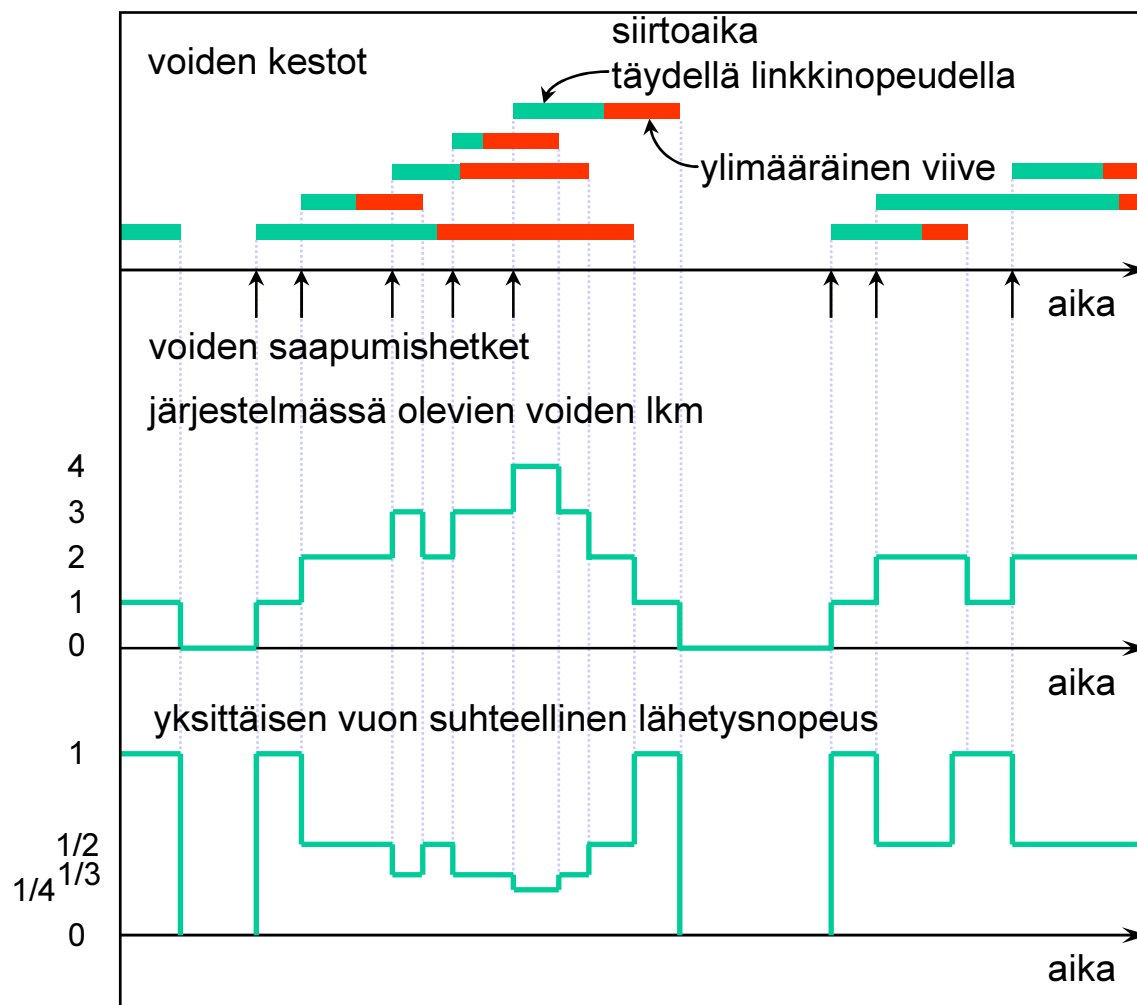
Liikenteen luokittelu



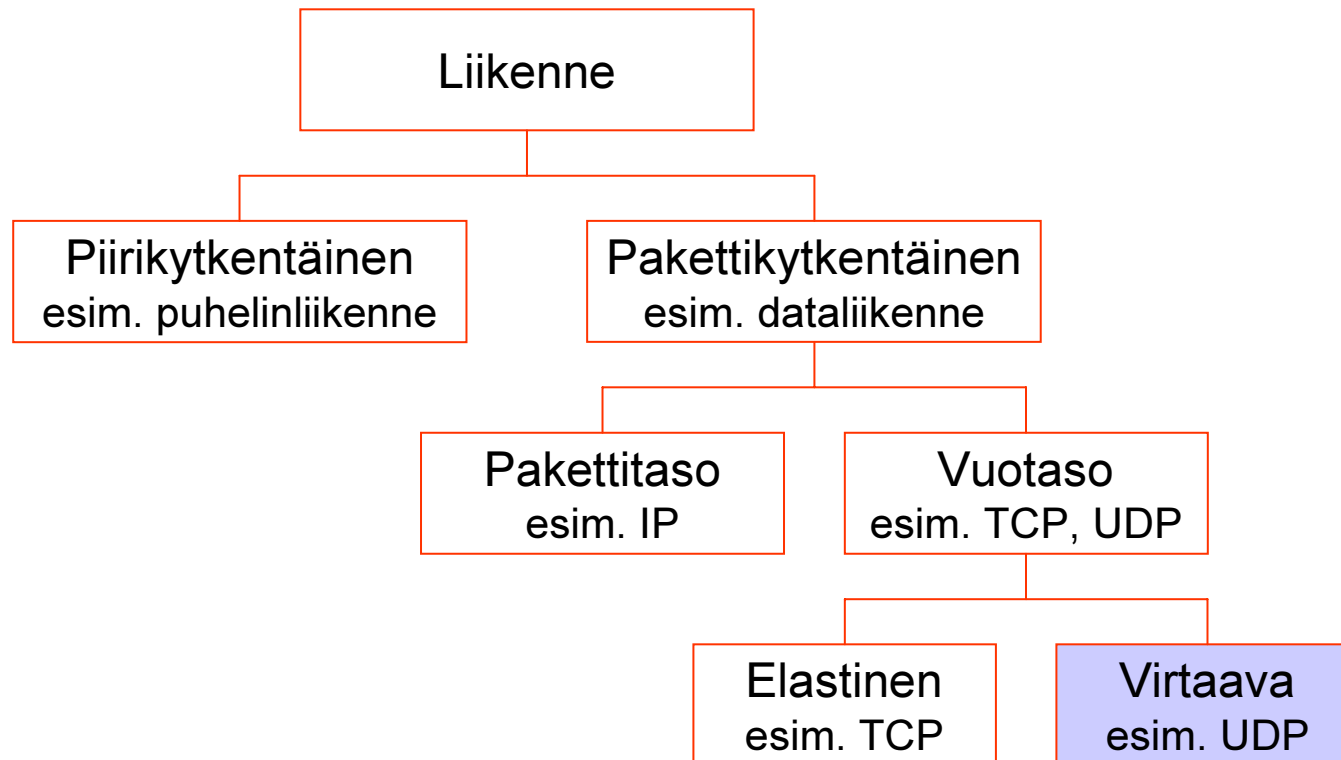
Vuotason malli elastiselle liikenteelle

- Elastinen liikenne koostuu adaptiivisista TCP-voista
 - vuon karakterisointi: **siirrettävän dokumentin koko**
 - vuon lähetysnopeus sekä vuon kesto määräytyvät dynaamisesti!
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
 - **voiden saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia voita saapuu)
 - **siirrettävien dokumenttien kokojakauma** (kuinka suuria ovat)
- Linkki mallinnetaan **jakojärjestelmänä**
 - koska pääsynvalvontaa ei ole, kaikki vuot pääsevät systeemiin
 - palvelijan palvelunopeus riippuu **linkin kapasiteetista ja keskimääräisestä vuon koosta**
 - vuotason mallissa lähetysnopeuden sopeutuminen tapahtuu yhdessä hetkessä ja kapasiteetti jaetaan reilusti tasan kilpailevien voiden kesken
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
 - **liikenneprosessi** kertoo systeemissä olevien voiden lkm:n

Vuotason liikenneprosessi elastiselle liikenteelle



Liikenteen luokittelu



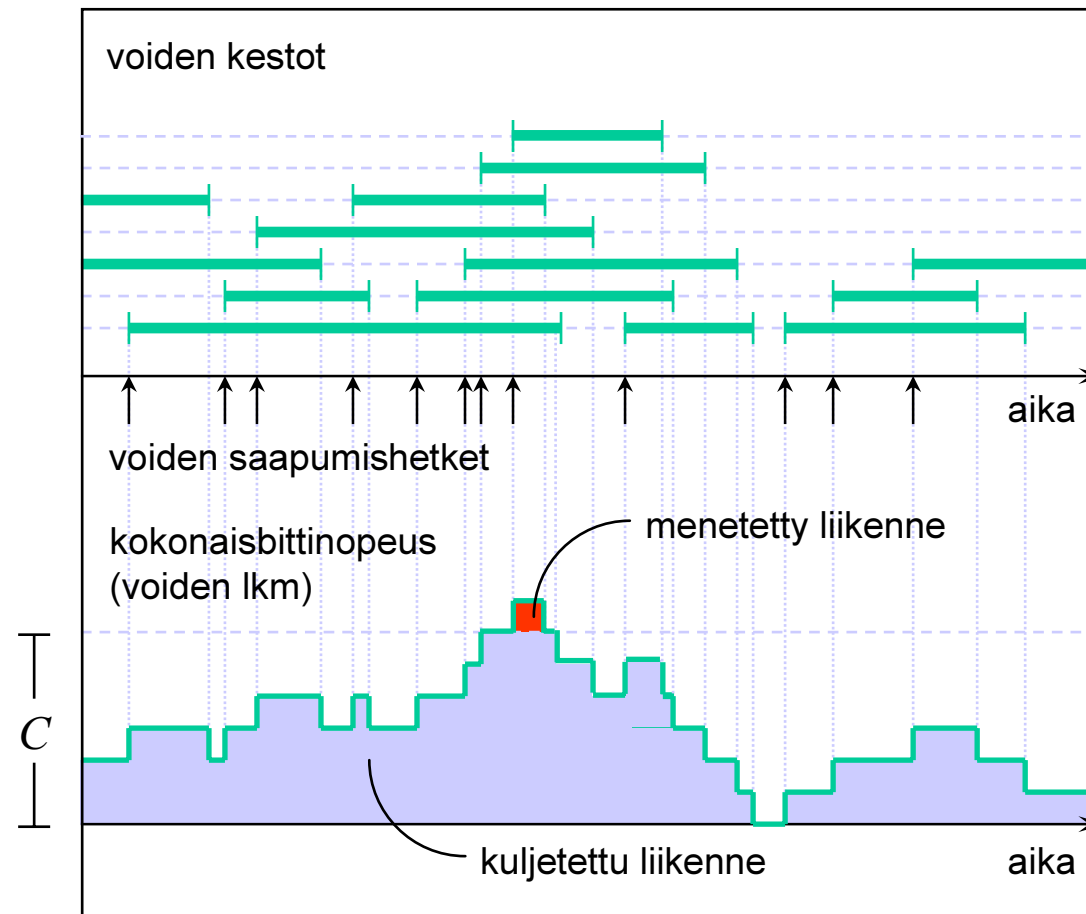
Virtaavien voiden luokittelu

- **Vakionopeuksinen (CBR = constant bit rate)**
 - esim: CBR-koodattu ääni/audio/video
 - pakettitaso: paketit kiinteänpituisia ja niitä generoituu tasavälein
 - vuotaso: vakionopeuksinen bittivirta
 - vuon karakterisointi: **bittinopeus ja kesto**
- **Vaihtuvanopeuksinen (VBR = variable bit rate)**
 - esim: VBR-koodattu ääni/audio/video
 - pakettitaso: paketit vaihtelevanpituisia ja niitä generoituu epäsäännöllisesti
 - vuotaso: vaihtuvanopeuksinen bittivirta
 - vuon karakterisointi: **bittinopeus ajan funktiona**

Vuotason malli virtaavalle CBR-liikenteelle

- Virtaava CBR-liikenne koostuu vakionopeuksisista UDP-voista
 - vuon karakterisointi: **bittinopeus** ja **kesto**
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
 - **voiden saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia voita saapuu)
 - **voiden kestojakauma** (kuinka kauan kestävät)
- Linkki mallinnetaan **äärettömänä järjestelmänä**
 - koska pääsynvalvontaa ei ole, kaikki vuot pääsevät systeemiin
 - virtaavan vuon lähetysnopeus ei reagoi verkon tilaan, eikä verkon tila myöskään vaikuta vuon kestoan
 - palvelijan palvelunopeus riippuu **keskimääräisestä vuon kestosta**
 - ei puskurointia vuotason mallissa: kun voiden yhteinen lähetysnopeus ylittää linkin nopeuden, bittejä katoaa (tasaisesti kaikilta voilta)
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
 - **liikenneprosessi** kertoo systeemissä olevien voiden lkm:n ja samalla tarjotun liikenteen voimakkuuden

Vuotason liikenneprosessi virtaavalle CBR-liikenteelle



THE END

