



# 11. Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä

## 11. Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä

### Sisältö

- Johdanto
- ATM-tekniikan perusteet
- Palveluluokat ja liikennesopimus
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä
- Pääsynvalvonta (CAC) ja yhteysparametrien valvonta (UPC)
- ABR-palveluluokan vuonohjaus

## Liikenteenhallinta

- Liikenteellisiä ongelmia:
  - Liikenne on luonteeltaan **satunnaista** (vaihdellen ennustamattomasti)
    - Ajoittain verkossa syntyy **ruuhkaa** (congestion)
  - Liikennelähteet voivat käyttäytyä "huonosti" (pyrkien saamaan käyttöönsä enemmän kuin "reilun" osuuden verkon resursseista)
- **Liikenteenhallintaa** (traffic management) tarvitaan, jotta
  - verkko saavuttaisi halutut laatu- ja suorituskykytavoitteet
  - verkko pystyisi suojaamaan itsensä ja muut käyttäjät huonosti käyttäytyviä lähteitä vastaan
- Verkon suojaamiseen ruuhkatilanteilta on kaksi lähestymistapaa:
  - **ennakoivat** (predictive) menetelmät, joilla pyritään ennalta välttämään ruuhkan syntyminen
  - **reagoivat** (reactive) menetelmät, joilla pyritään lievittämään ruuhkasta aiheutuvia ongelmia ja poistamaan koko ruuhka

3

## Esimerkkejä liikenteenhallinnasta

- Puhelinverkko (piirikytkentäinen verkko):
  - liikenteen- ja ruuhkanhallinta perustuu ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin
    - pääsynvalvonta
    - resurssien varaus (yhteydelle varataan kaistaa 64 kbit/s reitin varrella olevista linkeistä koko yhteyden ajaksi)
- X.25 (yhteydellinen pakettiverkko):
  - liikenteen- ja ruuhkanhallinta perustuu ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin
    - pääsynvalvonta
    - resurssien varaus (yhteydelle varataan tietty määrä puskuripaikkoja reitin varrella olevista pakettikytkimistä koko yhteyden ajaksi)
    - vuonohjaus (yhteyden liikennettä hallitaan/valvotaan linkkikohtaisella ikkunointimenetelmällä (open loop))
- IP (yhteydetön pakettiverkko):
  - liikenteen- ja ruuhkanhallinta perustuu reagoiviin toimenpiteisiin
    - vuonohjaus (TCP-yhteyden liikennettä hallitaan adaptiivisella ikkunointimenetelmällä (closed loop))

4

## RTT \* BW

- Kiertoaikaviiveen (RTT, round trip time) ja kaistanleveyden (BW, bandwidth) tulo määrää
  - paljonko informaatiota ehditään lähettää verkkoon, ennenkuin lähetysnopeutta ehditään muuttaa verkosta/vastaanottajalta saadun palautteen perusteella
- Laajakaistaisissa WAN-verkoissa tämä tulo kasvaa hyvin suureksi  
⇒ reagoivat menetelmät eivät (yksinään) riitä
- Esimerkki:
  - Oletetaan, että
    - kahden käyttäjän välinen etäisyys on 1500 km
    - käytettävissä olevan kaistan leveys on  $BW = 100 \text{ Mbps}$
  - Tässä tapauksessa
    - edestakainen etenemisviive pelkästään on  $2 \cdot 1500 / 300,000 \text{ s} = 0.01 \text{ s}$
  - Näin ollen, kiertoaikaviiveen ja kaistanleveyden tulo on vähintään:
    - $RTT \cdot BW > 0.01 \cdot 100,000,000 \text{ bits} = 1,000,000 \text{ bits} = 1 \text{ Mbit}$

5

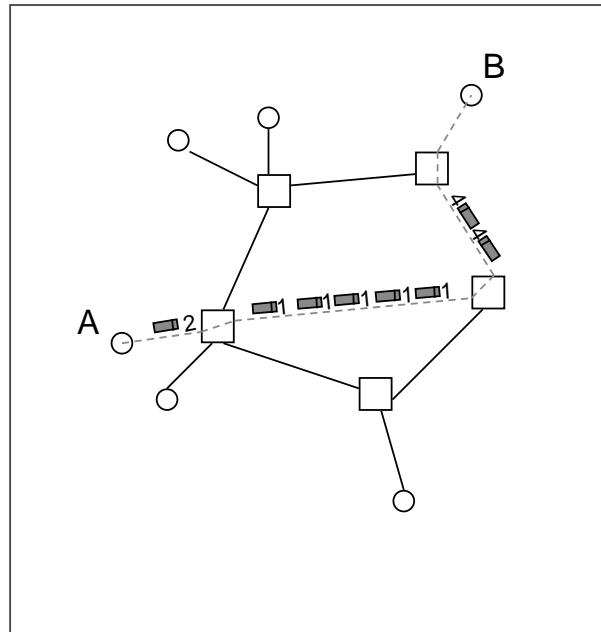
## Sisältö

- Johdanto
- ATM-tekniikan perusteet
- Palveluluokat ja liikennesopimus
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä
- Pääsynvalvonta (CAC) ja yhteysparametrien valvonta (UPC)
- ABR-palveluluokan vuonohjaus

6

## ATM

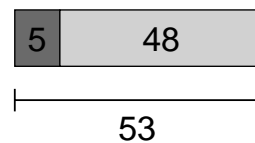
- Yhteydellinen:
  - tiedonsiirtoa edeltää yhteydenmuodostusvaihe, jonka aikana (virtuaali)yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän
  - resurssien varaus mahdollinen mutta ei pakollinen
- Informaation siirto lyhyinä kiinteänmittaisina paketteina eli **soluina** (cell)
  - pitkin yhteydelle valittua reittiä
  - tilastollinen kanavointi
  - solun otsikossa yhteyden tunniste (VPI/VCI)
  - ei virheentunnistusta/korjausta hyötykuormalle



7

## Solu

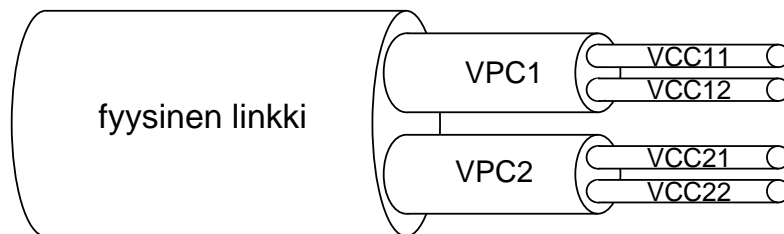
- **Solu** (cell) = lyhyt, kiinteänmittainen paketti
  - Kokonaispituus = **53 tavua** (oktettia) = 424 bittiä
  - **Otsikko**: 5 tavua
    - **GFC**, generic flow control (4 [0] bittiä UNI [NNI] rajapinnassa)
    - **VPI**, virtual path identifier (8 [12] bittiä  $\Rightarrow$  256 [4096] mahdollista arvoa)
    - **VCI**, virtual channel identifier (16 bittiä  $\Rightarrow$  65,536 mahdollista arvoa)
    - **PT**, payload type (3 bittiä)
    - **CLP**, cell loss priority (1 bitti)
    - **HEC**, header error control (8 bittiä)
  - **Informaatiokenttä**: 48 tavua
    - kompromissi (Eurooppa: 32 tavua; USA: 64 tavua;  $(64 + 32)/2 = 48$ )
    - kuljetetaan läpinäkyvästi (ilman virheentunnistusta/korjausta)



8

## Virtuaaliyhteydet

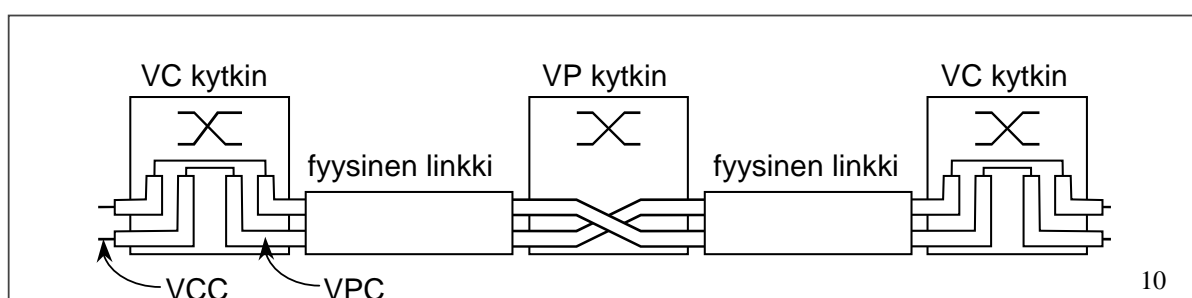
- **VCC = Virtuaalikanavayhteys** (Virtual Channel Connection)
  - perusyhteystyyppi
  - VCC:n identifioi soluotsikon kenttäpari VPI/VCI
    - 24 [28] bittiä  $\Rightarrow$  16,777,216 [268,435,456] mahdollista VPI/VCI-arvoa
  - VPI ja VCI ovat **lokaaleja** osoitteita  $\Rightarrow$  uudelleenkäyttö mahdollinen
- **VPC = Virtuaalipolkuyhteys** (Virtual Path Connection)
  - aggregoitu yhteystyyppi
  - VPC koostuu niistä VCC:istä, joilla sama VPI
    - 8 [12] bittiä  $\Rightarrow$  256 [4096] mahdollista arvoa VPI-arvoa
  - voidaan välittää ATM-kytkimessä yhtenä nippuna



9

## Virtuaalipolut

- **Etuja:**
  - nopeuttaa yhteydenmuodostusta
  - helpottaa verkon hallintaa
  - mahdollistaa palvelun laadun eriyttämisen (mm. palveluluokkien erottelu)
  - mahdollistaa erilaisten loogisten (virtuaalisten) verkkojen luonnin
- **Haittoja:**
  - tilastollisen kanavoinnin tuoma etu pienenee (sillä tilastollinen kanavointi yleensä mahdollista vain virtuaalipolkujen sisällä mutta ei niiden välillä)



10

## Sisältö

- Johdanto
- ATM-tekniikan perusteet
- **Palveluluokat ja liikennesopimus**
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä
- Pääsynvalvonta (CAC) ja yhteysparametrien valvonta (UPC)
- ABR-palveluluokan vuonohjaus

## Liikennelähteet

- **Liikennelähde** (traffic source) = päätelaitteen sovellus, joka generoi soluja ATM-yhteydelle
- **Reaaliaikaiset** (real-time) liikennelähteet
  - esim. interaktiivinen ääni ja video
  - virtaavaa liikennettä (stream/rate-oriented traffic)
    - tiukat solujen viiveeseen ja viiveen vaihteluun liittyvät laatuvaatimukset
    - yhteydelle ominainen kaistavaatimus
      - esim. 64 kbps ääniyhteydelle
    - kiinteänopeuksiset (constant-bit-rate, CBR) vs. vaihtuvanopeuksiset (variable-bit-rate, VBR) liikennelähteet
      - ääni ja video voidaan koodata kummallakin tavalla
- **Ei-reaaliaikaiset** (non-real-time) liikennelähteet
  - esim. viestien välitys (kuten sähköposti) ja datan/kuvien haku (kuten WWW)
  - elastista liikennettä (elastic/unit-oriented traffic)
    - ei tiukkoja viiveeseen ja viiveen vaihteluun liittyviä laatuvaatimuksia
    - ei luonnollista kaistavaatimusta (mitä suurempi sitä parempi)

## Palvelun laatu

- Palvelun laatua voidaan tarkastella sekä kutsu- että solutasolla
  - yhteystason palvelun laatua nimitetään **palvelun tasoksi** (GoS, grade of service) erotuksena solutason **palvelun laadusta** (QoS, quality of service)
- **Yhteystasolla** tärkein palvelun tasoa kuvaava parametri on yhteyden kokema **esto** (ts. tn, että yhteyttä ei hyväksytä)
  - käyttäjien toive (käytetystä palvelusta riippumatta): mahdoll. pieni esto
  - verkon operaattori voi vaikuttaa asiaan verkon oikealla mitoituksella
- **Solutason** palvelun laatu taas riippuu ko. yhteystyypistä
  - Reaaliaikaisten yhteyksien tärkeimpiä laatuparametreja ovat
    - solujen päästä-päähän viive ja (erityisesti) vaihtelut tässä viiveessä
    - sen sijaan solujen katoaminen tai korruptoituminen ei ole niin vaarallista
  - Ei-reaaliaikaisille yhteyksille taas
    - viiveellä ja etenkin sen vaihtelulla ei ole suurta merkitystä,
    - mutta solujen katoaminen tai korruptoituminen tuottaa ongelmia
    - lyhyet viiveet suotavia mutta eivät mitenkään ehdottomia
    - mitä enemmän kaistaa, sitä parempi

13

## Palveluluokat (1)

- Liikennelähteiden luonteen ja niiden asettamien palvelun laatuvaatimusten vaihtelun vuoksi
  - yhteydet jaetaan ATM:ssä **palveluluokkiin**
    - ATM-Forum terminologia [2]: service category
    - ITU-T terminologia [3]: ATM transfer capability
  - eri toiminnot, kuten reititys, pääsynvalvonta ja resurssien allokointi, tehdään yleensä palveluluokakohtaisesti
- Yhteyttä muodostettaessa
  - valitaan paitsi palveluluokka
  - tehdään myös ns. **liikennesopimus** (traffic contract), jossa spesifioidaan tarkemmin ko. yhteyden liikennettä ja palvelun laatuvaatimusta kuvaavat parametrit

14

## Palveluluokat (2)

- **Palveluluokat** (ATM Forumin TMS 4.0:n [2] mukaan):
  - **CBR** = constant bit rate = vakiosirtonopeus
    - reaaliaikainen, taattu QoS
  - **VBR-rt** = variable bit rate, real-time = reaaliaikainen vaihteleva sirtonopeus
    - reaaliaikainen, taattu QoS
  - **VBR-nrt** = variable bit rate, non-real-time = ei-reaaliaikainen vaihteleva sirtonopeus
    - ei-reaaliaikainen, taattu QoS
  - **ABR** = available bit rate = käytävissäoleva sirtonopeus
    - ei-reaaliaikainen, ei absoluuttisia QoS takeita
    - liikenteen valvontaan kehitetty oma vuonohjausmenettely (ABR flow control), jossa liikennelähteiden tulee kyetä säätämään lähetysnopeuttaan verkon ohjaamana
  - **UBR** = unspecified bit rate = määrittelemätön sirtonopeus
    - ei-reaaliaikainen, ei minkäänlaisia QoS takeita

Source: [2]

15

## Liikennesopimus

- Yhteyden muodostuksen aikana, käyttäjä ja verkko neuvottelevat **liikennesopimuksen** (Traffic Contract)
  - koskee liikennettä (so. yhteyden aikana lähetettyjä soluja) käyttäjän ja verkon välisessä rajapinnassa (user-network interface, **UNI**)
- Liikennesopimus määrittelee
  - yhteyden palveluluokan
  - yhteyden liikenteen luonteen
    - **liikenneparametrien** (PCR, SCR, MBS, MCR) ja **viivetoleranssien** (CDVT, BT) avulla
  - yhteydelle annettavan palvelun laatutakeet
    - **laatuparametrien** (CTD, CDV, CLR) avulla

16



## Liikenneparametrit

- **PCR** =  $1/T$  = peak cell rate = huippusolunopeus
  - lähteen suurin sallittu hetkellinen lähetysnopeus (solua/s)
  - määritellään kaikille yhteyksille
- **SCR** =  $1/T_s$  = sustainable cell rate = ylläpidettävä solunopeus
  - suurin nopeus (solua/s), jolla lähde voi lähettää jatkuvasti ilman verkon yhteysparametrien valvonnan puuttumista asiaan
  - määritellään VBR-palveluluokkien yhteyksille
- **MBS** = maximum burst size = purskeen enimmäiskoko
  - suurin määrä soluja, jotka voidaan lähettää huippusolunopeudella (PCR) ilman, että liikennesopimuksen ylläpidettävää solunopeutta (SCR) rikotaan
  - määritellään VBR-palveluluokkien yhteyksille
- **MCR** = minimum cell rate = vähimmäissolunopeus
  - taattu vähimmäisnopeus (solua/s), jolla lähde saa lähettää jatkuvasti
  - määritellään ABR-palveluluokan yhteyksille

17

## Viivetoleranssit

- **CDVT** =  $\tau$  = cell delay variation tolerance = soluviiveen vaihtelun toleranssi
  - yläraja (käyttäjistä riippumattomalle) solujen rypästykselle lähteen ja liikennettä valvojan UPC:n välillä
    - solujen multipleksointi (aikaviipaloitu järjestelmä)
    - fyysisen kerroksen overhead ja OAM solujen lisäys
  - määritellään kaikille yhteyksille
- **BT** =  $\tau_s$  = burst tolerance = pursketoleranssi
  - $BT = (MBS - 1)(T_s - T)$ , missä
    - $T_s = 1/SCR$
    - $T = 1/PCR$
  - määritellään VBR-palveluluokkien yhteyksille

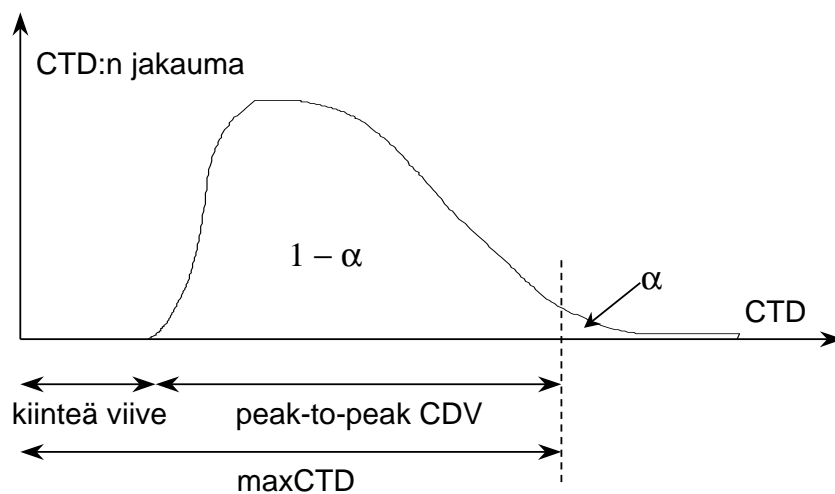
18

## Laatuparametrit (neuvoteltavissa olevat)

- **(max)CTD** = maximum cell transfer delay = solun enimmäissiirtoviive
  - suurin sallittu päästä-päähän siirtoviive (tarkemmin:  $(1-\alpha)$ -fraktiili)
  - siirtoviive on summa
    - mittauspisteiden välillä olevien kytkentälaitteiden aiheuttamasta käsittelyviiveestä (kytkentä- ja jonotusviiveet) ja lähetysviiveestä sekä
    - mittauspisteiden välisen fyysisen etäisyyden aiheuttamasta viiveestä (signaalin etenemisviive)
  - määritellään reaaliaikaisille palveluluokille (CBR, VBR-rt)
- **(peak-to-peak) CDV** = cell delay variation = solun siirtoviiveen vaihtelu
  - suurimman sallitun ja pienimmän mahdollisen päästä-päähän siirtoviiveen erotus (so. jonotusviiveiden summa)
  - määritellään reaaliaikaisille palveluluokille (CBR, VBR-rt)
- **CLR** = cell loss ratio = solumenetyssuhde
  - CLR = menetetyt solut / lähetetyt solut
  - määritellään CBR- ja VBR-palveluluokille

19

## maxCTD ja peak-to-peak CDV



## ATM-kerroksen palveluluokat ja parametrit

	ATM Layer Service Category				
	CBR	VBR-rt	VBR-nrt	UBR	ABR
<b>Traffic parameters:</b>					
PCR, CDVT	specified				
SCR, MBS	n/a	specified		n/a	
MCR	n/a				specified
<b>QoS parameters:</b>					
Peak-to-peak CDV	specified		unspecified		
MaxCTD	specified		unspecified		
CLR	specified			unspecified	

Source: [2]

21

## Sisältö

- Johdanto
- ATM-tekniikan perusteet
- Palveluluokat ja liikennesopimus
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä
- Pääsynvalvonta (CAC) ja yhteysparametrien valvonta (UPC)
- ABR-palveluluokan vuonohjaus

## Liikenteen- ja ruuhkanhallinnan toimenpiteet eri aikaskaaloissa

- ATM:ssä:

**Liikenteenhallinta (traffic control) = ennakoivat menetelmät**  
**Ruuhkanhallinta (congestion control) = reagoivat menetelmät**

Response time:	Traffic control functions:	Congestion control functions:
<b>Long term (hours - days)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resource Management using Virtual Paths</li> </ul>	
<b>Connection duration (secs - mins)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connection Admission Control (CAC)</li> </ul>	
<b>Round trip propagation time (ms)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast Resource Management</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicit Forward Congestion Indication (EFCI)</li> <li>• ABR Flow Control</li> </ul>
<b>Cell insertion time (<math>\mu</math>s)</b> Source: [1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usage Parameter Control (UPC)</li> <li>• Priority Control</li> <li>• Traffic Shaping</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selective Cell Discard</li> <li>• Frame Discard</li> </ul>

23

## Ennakoivat menetelmät (1)

- **Virtuaalipolkuihin (VP) perustuva verkon resurssien hallinta**
  - VCC-yhteyksien ryhmittely eri virtuaalipoluille esim. liikennetyypin mukaan
  - mahdollistaa palvelun laadun eriyttämisen
  - VPC:n toimintakyky tulee asettaa vaativimman VCC:n mukaan
  - ennaltaehkäisevää (staattinen kaistan allokointi)
- **Yhteyksien hyväksyntä eli pääsynvalvonta (CAC)**
  - CAC = Connection Admission Control
  - hyväksytyjen yhteyksien suojele ylikuormalta
  - yhteyden muodostusvaiheessa verkko päättää (kytkin kytkimeltä), hyväksytäänkö yhteyspyyntö vai hylätäänkö se
  - hyväksytyyn yhteyden liikenteen luonne ja vaadittu (yhteydenaikainen) palvelun laatu määritellään liikennesopimuksessa
  - jos yhteys toimii sopimuksen puitteissa (compliant connection), verkon pitää taata sille sopimuksen mukainen palvelun laatu

## Ennakoivat menetelmät (2)

- **Yhteysparametrien valvonta (UPC)**
  - UPC = Usage Parameter Control
  - sopimusta noudattavien yhteyksien suojele sopimusta rikkovia yhteyksiä vastaan
  - tiedonsiirtovaiheessa verkko valvoo (käyttäjän ja verkon välisessä rajapinnassa), että yhteydeltä tuleva liikenne (soluvirta) on sopimuksen mukaista
  - sopimuksenvastaiset solut voidaan joko poistaa välittömästi tai sitten merkitä alemmalle prioriteetille (CLP = 1)
- **Liikenteen muokkaus (traffic shaping)**
  - käytetään etupäässä varmistamaan liikenteen yhteensopivuus liikennesopimuksen kanssa valvontarajapinnassa
  - älykkäät päätelaitteet suorittavat itse liikenteen muokkauksen
  - myös kytkinlaitteet saattavat joutua suorittamaan liikenteen muokkausta verkkojen välisissä rajapinnoissa

Source: [2]

25

## Reagoivat menetelmät (1)

- **Eksplisiittinen myötäsuntainen ruuhkanilmaisu (EFCI)**
  - EFCI = Explicit Forward Congestion Indication
  - solun otsikon EFCI-bittiä käytetään ruuhkan ilmaisuun päätelaitteille
  - ruuhkatilassa oleva kytkentälaitte voi asettaa ATM-soluotsikossa olevan EFCI-bitin ykköseksi (mutta ei saa koskaan asettaa EFCI-bittiä nolllaksi)
  - EFCI-bitin käyttö on järkevää vain osana laajempaa hallintamenettelyä, jossa päätelaitteiden käyttäytyminen on määritelty (ks. ABR-vuonohjaus)
- **ABR-palveluluokan vuonohjaus**
  - ATM-yhteyden edestakaisen kiertoajan aikaskaalassa tapahtuva resurssinhallintatoimenpide, jolla sopeutetaan ABR-palveluluokkaan kuuluvien lähteiden lähetysnopeudet käytettävissä olevaan kaistaan
  - perustuu resurssinhallintasolujen (RM, resource management) käyttöön
  - parannetuissa ruuhkanhallintamenetelmissä ei pelkästään ilmaista yhdellä bitillä, onko ruuhkaa vai ei, vaan kytkimet voivat RM-solun avulla ilmaista, millä nopeudella lähde voi lähettää soluja (ER, explicit cell rate)

Source: [2]

26

## Reagoivat menetelmät (2)

- **Solujen valikoiva hylkääminen (selective cell discard)**
  - lähde itse voi merkitä vähemmän tärkeitä solut alemman prioriteetin (CLP = 1) soluiksi
  - verkko (UPC) voi merkitä sopimuksenvastaiset solut alemman prioriteetin (CLP = 1) soluiksi (cell tagging)
  - ruuhkatilanteessa verkko hylkää ensin alemman prioriteetin (CLP = 1) soluja
- **Kehysten hylkääminen (frame discard)**
  - mikäli soluja joudutaan hylkäämään, on edullisempaa hylätä kokonaisia kehyksiä (so. ylemmän tason paketteja)
  - toimenpide mahdollinen, jos kehysten rajat havaittavissa

Source: [2]

27

## Sisältö

- Johdanto
- ATM-tekniikan perusteet
- Palveluluokat ja liikennesopimus
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä
- Pääsynvalvonta (CAC) ja yhteysparametrien valvonta (UPC)
- ABR-palveluluokan vuonohjaus

28

## Pääsynvalvonta (CAC)

- Yhteyden muodostusvaiheessa (kussakin verkon solmussa) CAC päättää (arvioituaan yhteyksien yhteisen resurssitarpeen)
  - hyväksytäänkö yhteys vai ei
  - valvottavat liikenneparametrit UPC:ta varten
  - reitityksestä ja resurssien varaamisesta
- Resurssitarpeen arviointi on verkko-operaattorin itse suoritettava
  - menettelyä ei standardoida (siis mahdollinen kilpailutekijä)
  - palveluluokkakohtainen
  - liikenteelliseltä kannalta vaativa toimenpide (perustuen matemaattisiin liikennemalleihin)
- Yhteyden hylkäämisen tarkoituksena
  - on taata (jo aiemmin) hyväksytyille yhteyksille sovittu palvelun laatu
- Hylkäykset kasvattavat yhteystason (kutsu)estoa
  - puuttuvien resurssien ongelma on siis siirretty solutasolta kutsutasolle
  - ainoa (pitkän päälle) kestävä ratkaisu on verkon resurssien lisäys

29

## Resurssitarpeen arviointi / Resurssien allokointi

- CBR-palveluluokka
  - yhteydelle on varattava kaistaa huippusolunopeuden (PCR) mukaan
- VBR-palveluokat
  - yhteydelle varataan kaistaa ns. **efektiivisen solunopeuden mukaan** (ECR, effective cell rate), joka operaattorin on arvioitava
  - $SCR \leq ECR \leq PCR$
  - ECR riippuu toisaalta lähteen luonteesta (sekä liikenteestä että laatuvaatimuksista) ja toisaalta verkon laitteista (esim. linkin nopeudesta)
- ABR-palveluluokka
  - yhteydelle varataan kaistaa vähimmäissolunopeuden (MCR) mukaan
  - todellista nopeutta säädetään yhteyden aikana
- UBR-palveluluokka
  - yhteydelle ei varata kaistaa ollenkaan
  - ei mitään takeita, kuinka paljon yhteyks saa kaistaa (yhteyden aikana)

30

## Esimerkki

- Tarkastellaan tilannetta, missä eri palveluokat on eroteltu linkin sisällä eri virtuaalipolkuihin
  - Merk.  $C$ :llä ko. virtuaalipolun huippusolunopeutta (so. PCR:ää)
  - Indeksoidaan olemassaolevat yhteydet:  $i = 1, \dots, n$
  - Uusi yhteyspyyntö:  $n + 1$
- Yksinkertainen, pelkästään käytettävissä olevaan kaistaan perustuva hyväksymismenettely voisi olla palveluluokittain seuraava:
  - Uusi yhteys hyväksytään, jos ...
    - CBR: ...  $PCR_1 + \dots + PCR_{n+1} \leq C$
    - VBR: ...  $ECR_1 + \dots + ECR_{n+1} \leq C$
    - ABR: ...  $MCR_1 + \dots + MCR_{n+1} \leq C$
    - UBR: ... aina!

31

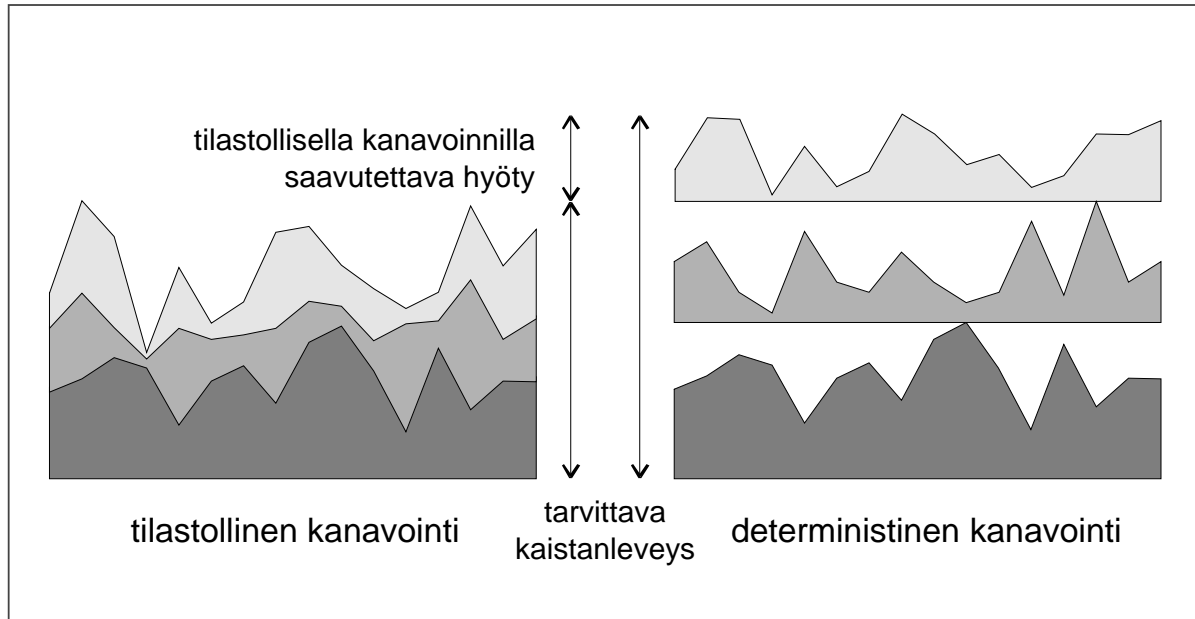
## Efektiivinen solunopeus

- Käyttökelpoinen ennen kaikkea VBR-palveluluokan yhteydessä
- Usein kutsutaan myös **efektiiviseksi kaistaksi** (effective bandwidth)
  - tällöin yksikkönä pikemminkin bittejä sekunnissa (kuin soluja sekunnissa)
- Hyödynnetään tilastollisella kanavoinnilla saavutettavaa etua
  - kaistan tarvetta voidaan kompensoida puskuroinnilla (mitä enemmän puskuria, sitä pienempi ECR)
- Oletetaan lähteiden välinen riippumattomuus
  - tämä takaa, että eri lähteiden nopeushuiput sattuvat päällekkäin vain hyvin pienellä todennäköisyydellä
- Huom.
  - pahimmassa tapauksessa VBR-lähteet toimivat täysin synkronoidusti, jolloin on tyypillisesti tyydyttävä huippunopeusallokaatioon (jota tosin puskuroinnilla voidaan hieman lieventää)

32



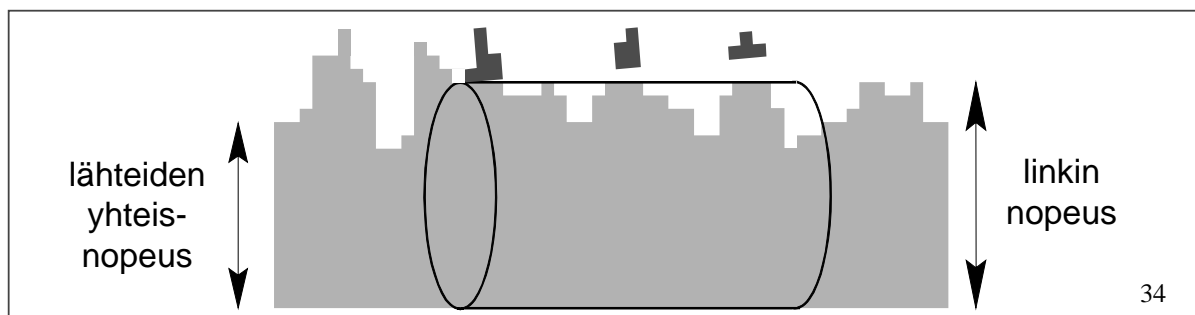
## Tilastollisella kanavoinnilla saavutettava etu



33

## Efektiiivisen kaistan laskenta (1)

- Tarkastellaan  $n$  **riippumatonta** ja identtistä VBR-tyyppistä lähdetä
  - Merk.  $R_i$ :llä lähteen  $i$  hetkellistä lähetysopeutta (bps)
  - Oletaan, että nämä VBR-yhteydet kulkevat samassa VP:ssä, jonka kapasiteettia merkitään  $C$ :llä (bps)
- Laatuvaatimus:  $CLR \leq \epsilon$
- Ns. **puskurittomassa** mallissa pätee:  $CLR \approx P\{\sum_i R_i > C\}$
- Tehtävänä on siis laskea ns. efektiivinen kaista  $e$  s.e.  $P\{\sum_i R_i > ne\} = \epsilon$



34

## Efektiivisen kaistan laskenta (2)

- Merkitään
  - $m = E[R_i], v = \text{Var}[R_i]$
- Riippumattomuuden nojalla pätee
  - $M := E[\sum_i R_i] = nm, V := \text{Var}[\sum_i R_i] = nv$
- Keskeisen raja-arvolauseen mukaan taas pätee
  - $\sum_i R_i \approx N(M, V) = N(nm, nv)$
- Näin ollen:

$$P\{\sum_i R_i > ne\} = \varepsilon \Leftrightarrow ne = nm + z_{1-\varepsilon} \sqrt{nv} \Leftrightarrow e = m + z_{1-\varepsilon} \sqrt{\frac{v}{n}}$$

- Tässä  $z_p$  tarkoittaa  $N(0,1)$ -jakauman  $p$ -fraktiilia
- Yksinkertainen malli kuvaa efektiivisen kaistan olennaisimmat piirteet:
  - pienenee lähteiden lukumäärän (linkin kapasiteetin) kasvaessa
  - lähestyy asympotoottisesti keskinopeutta

35

## Esimerkki

- Tarkastellaan sellaisia VBR-tyyppisiä lähteitä/yhteyksiä, joille
  - $m = E[R_i] = 32 \text{ kbps}, v = \text{Var}[R_i] = (32 \text{ kbps})^2$
- Oletaan, että nämä VBR-yhteydet kulkevat samassa VP:ssä, jolle
  - $C = 2000 \text{ kbps}$
- **Kysymys:** Montako tällaista yhteyttä CAC voi VP:lle hyväksyä, kun laatuvaatimus on
  - $\text{CLR} \leq \varepsilon = 10^{-4}$
- **Vastaus:** Normeeratun normaalijakauman taulukosta nähdään, että
  - $z_{1-\varepsilon} = z_{0,9999} = 3.719$
- On siis löydettävä sellainen  $n^*$ , että
  - $n^* = \max\{n \mid nm + z_{1-\varepsilon}(nv)^{1/2} \leq C\} = \max\{n \mid 32n + 119(n)^{1/2} \leq 2000\}$
- Yhtälön  $32x + 119(x)^{1/2} = 2000$  ratkaisu on  $x = 39.2$ , joten
  - $n^* = 39$
  - $e = C/n^* = 51 \text{ kbps}$

36

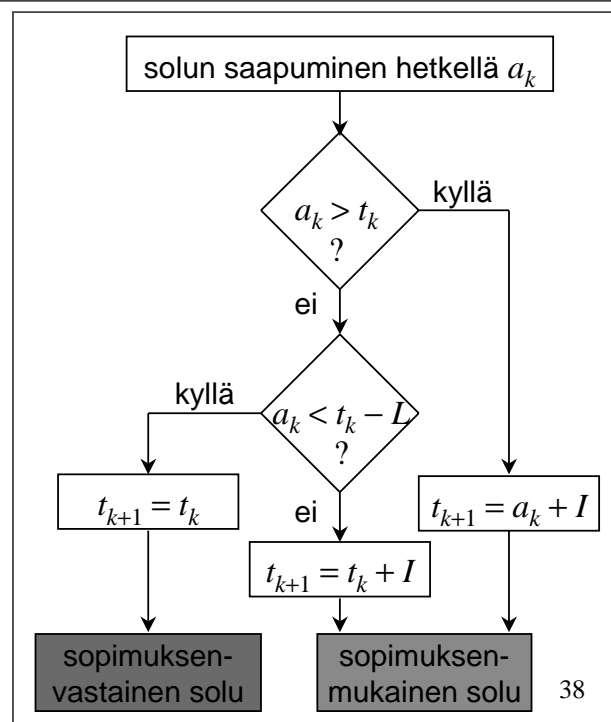
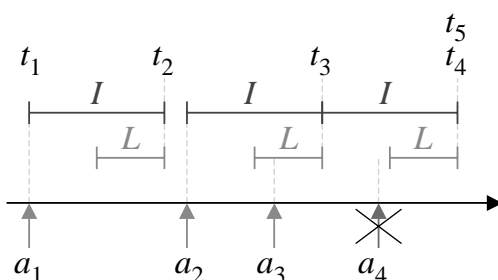
## Yhteysparametrien valvonta (UPC)

- Tiedonsiirtovaiheessa UPC valvoo (käyttäjän ja verkon välisessä rajapinnassa) yhteyden liikennettä (soluvirtaa)
  - päästämällä läpi sopimuksenmukaiset (conforming) solut
  - merkitsemällä (tagging) alemmalle prioriteetille (CLP = 0 → CLP = 1) tai hylkäämällä (discarding) sopimuksenvastaiset (non-conforming) solut
- Solujen sopimuksenmukaisuutta valvotaan ns. **geneerisellä solunopeusalgoritmilla (GCRA, generic cell rate algorithm)**
  - algoritmissa  $GCRA(I,L)$  on kaksi parametria:
    - $I$  = Increment = valvottavaa lähetyksenopeutta  $R$  vastaava väliaika =  $1/R$
    - $L$  = Limit = sallittu (etuaikainen) poikkeama normaalista saapumisajasta
- Huippusolunopeuden (PCR) valvonta:
  - $GCRA(1/PCR, CDVT) = GCRA(T, \tau)$
- Ylläpidettävän solunopeuden (SCR) valvonta:
  - $GCRA(1/SCR, BT) = GCRA(T_s, \tau_s)$

37

## GCRA(I,L)

- Merkitään
  - $t_k = k$ :nnen solun ennakoitu saapumisaika
  - $a_k = k$ :nnen solun todellinen saapumisaika
- Initialisointi hetkellä  $a_1$ :  $t_1 = a_1$
- Algoritmin pyörittäminen hetkillä  $a_k$ ,  $k = 1, 2, \dots$



38

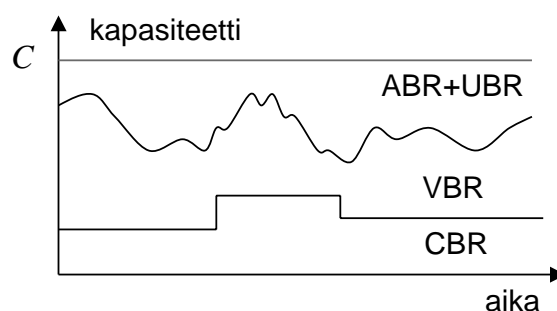
## Sisältö

- Johdanto
- ATM-tekniikan perusteet
- Palveluluokat ja liikennesopimus
- Liikenteen- ja ruuhkanhallinta ATM:ssä
- Pääsynvalvonta (CAC) ja yhteysparametrien valvonta (UPC)
- ABR-palveluluokan vuonohjaus

39

## "Best Effort" -palvelut

- Palvelun laadun takaaminen CBR- ja VBR-yhteyksille edellyttää resurssien **dedikointia**, mikä johtaa verkon alhaiseen käyttöasteeseen
- Käyttämätön kapasiteetti voidaan tarjota (alemman prioriteetin) **jaettuna** resurssina ABR- ja UBR-yhteyksille (antamatta siis mitään takeita palvelun laadusta, ns. "best effort" -palvelu)
- Koska näille yhteyksille ei tehdä mitään etukäteisvarauksia,
  - verkon solmuihin tarvitaan oleellisesti suuremmat puskurit
  - jaetun resurssin oikeudenmukainen jako (reiluus) tulee tärkeäksi



40

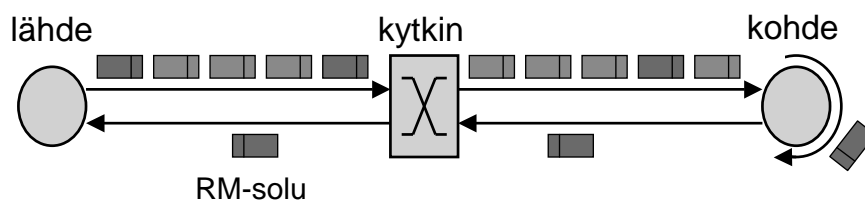
## ABR-palveluluokan vuonohjaus

- Päämäärä:
  - korkean käyttöasteen ja alhaisen solumenetyssuhteen saavuttaminen yhtäaikaan
- Yhteyden hyväksymisen yhteydessä sovitaan vain
  - huippusolunopeudesta (PCR) = suurin sallittu hetkellinen lähetysnopeus
  - vähimmäissolunopeudesta (MCR) = pienin hyödynnettävä lähetysnopeus
- Puskurien ylivuodon (miksei myös alivuodon) välttämiseksi lähteen nopeutta säädetään suljetulla säätösilmukalla
  - säädetty nopeus voi olla mitä tahansa MCR:n ja PCR:n väliltä
  - implementointi erityisten RM-solujen avulla
- Ko. menetelmä on selvästikin reagoiva
  - reagoiden esim. puskurin täyttöasteeseen tai täyttöasteen muutokseen

41

## Nopeuspohjainen vuonohjausmekanismi

- Lähde lähettää RM-soluja Nrm:n informaatio-solun välein
  - kertoen nykyisen lähetysnopeutensa (CCR) ja haluamansa nopeuden (ER)
- Reitillä olevat kytkimet laskevat tämän perusteella reilun kaistaosuuden
  - ne voivat myös pienentää ER-kentän arvoa
- Kohde kääntää RM-solut paluusuuntaan
  - se voi myös pienentää ER-kentän arvoa
- Reitillä olevat kytkimet merkitsevät palaavien RM-solujen ER-kenttään sallitun nopeuden
- Lähde sovittaa lähetysnopeutensa saatuun palautteeseen



42

## Kirjallisuutta

- 1 W. Stallings (1998)
  - “High-Speed Networks: TCP/IP and ATM design principles”
  - Prentice Hall, New Jersey
- 2 ATM-Forum, Technical Committee
  - “Traffic Management Specification, Version 4.0”
  - April 1996
- 3 ITU-T, Study Group 13
  - “Recommendation I.371: Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN”
  - July 1995

**THE END**

