



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

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))

RTT * BW

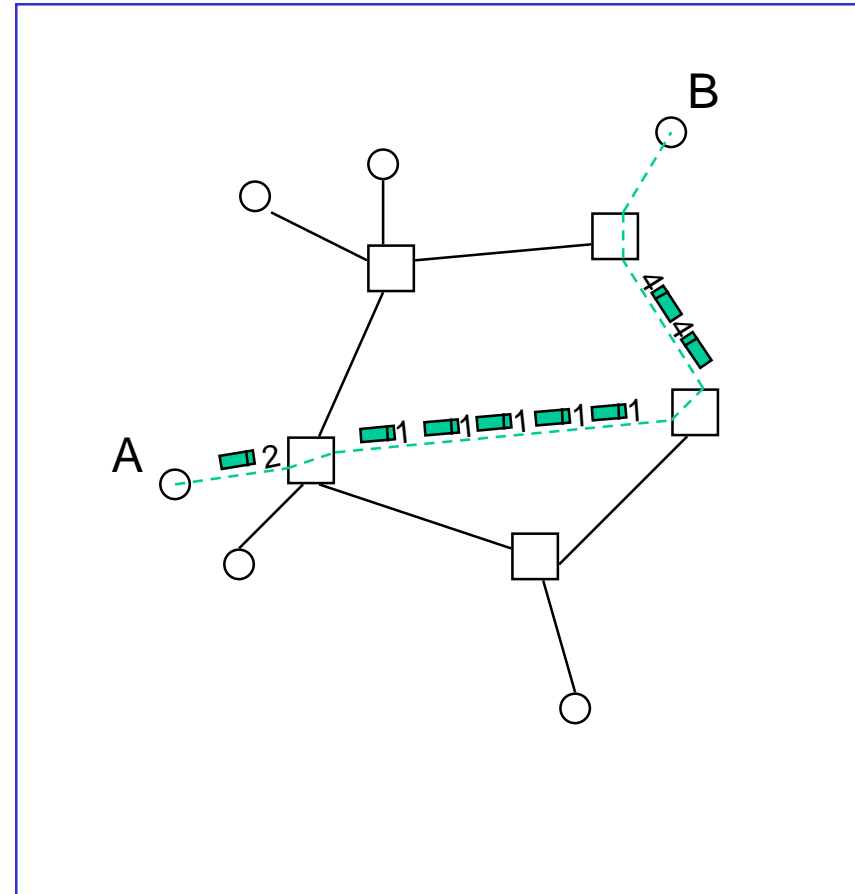
- Kiertoaikaviiveen (RTT, round trip time) ja kaistanleveyden (BW, bandwidth) tulo määrää
 - paljonko informaatiota ehditään lähettää verkkoon, ennenkuin lähetysnopeutta ehditään muuttaa verkosta/vastaanottajalta saadun palautteen perusteella
- Laajakaistaisissa WAN-verkoissa tämä tulo kasvaa hyvin suureksi
⇒ 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:
 - $RTT \cdot BW > 0.01 \cdot 100,000,000 \text{ bits} = 1,000,000 \text{ bits} = 1 \text{ Mbit}$

Sisältö

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

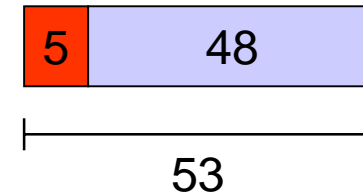
ATM

- 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



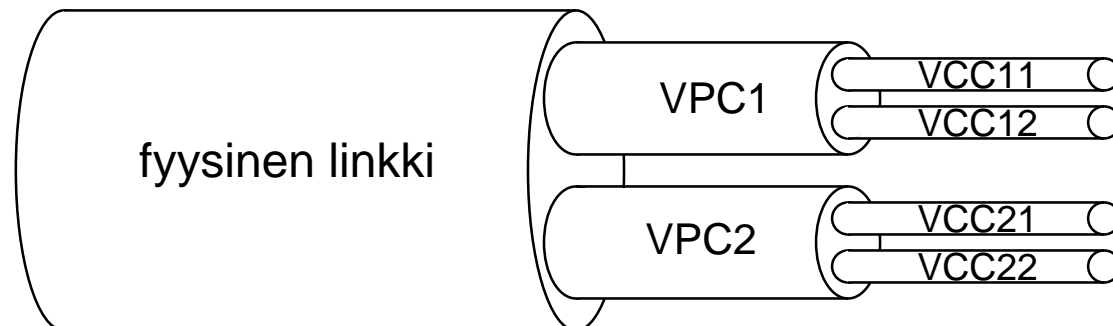
Solu

- **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)



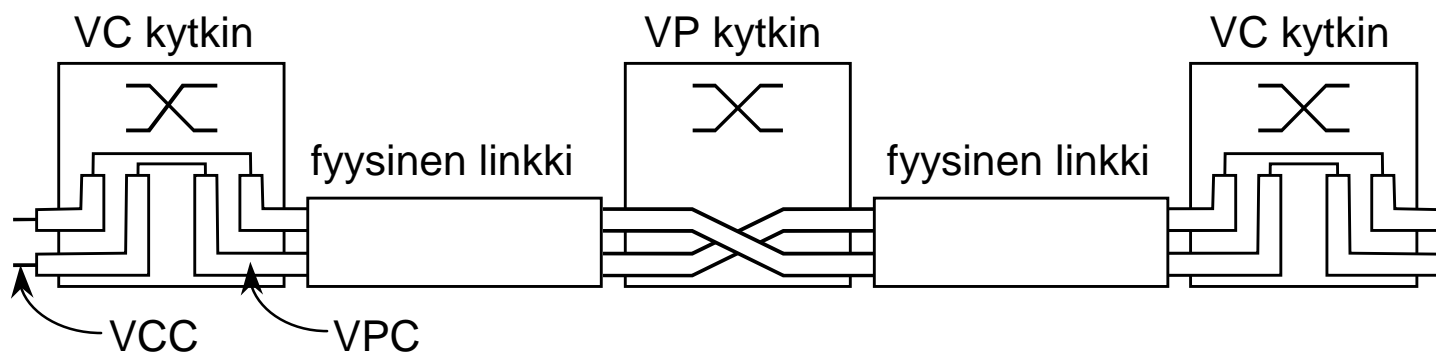
Virtuaaliyhteydet

- **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



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)



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 liittyvät 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

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 palveluluokkakohtaisesti
- Yhteyttä muodostettaessa
 - valitaan paitsi palveluluokka
 - tehdään myös ns. **liikennesopimus** (traffic contract), jossa spesifioidaan tarkemmin ko. yhteyden liikennettä ja palvelun laatuvaatimusta kuvaavat parametrit

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 = käytettävissäoleva 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

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

Liikenneparametrit

- **PCR** = $1/T$ = peak cell rate = huippusolunopeus
 - lähteen suurin sallittu hetkellinen lähetysopeus (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

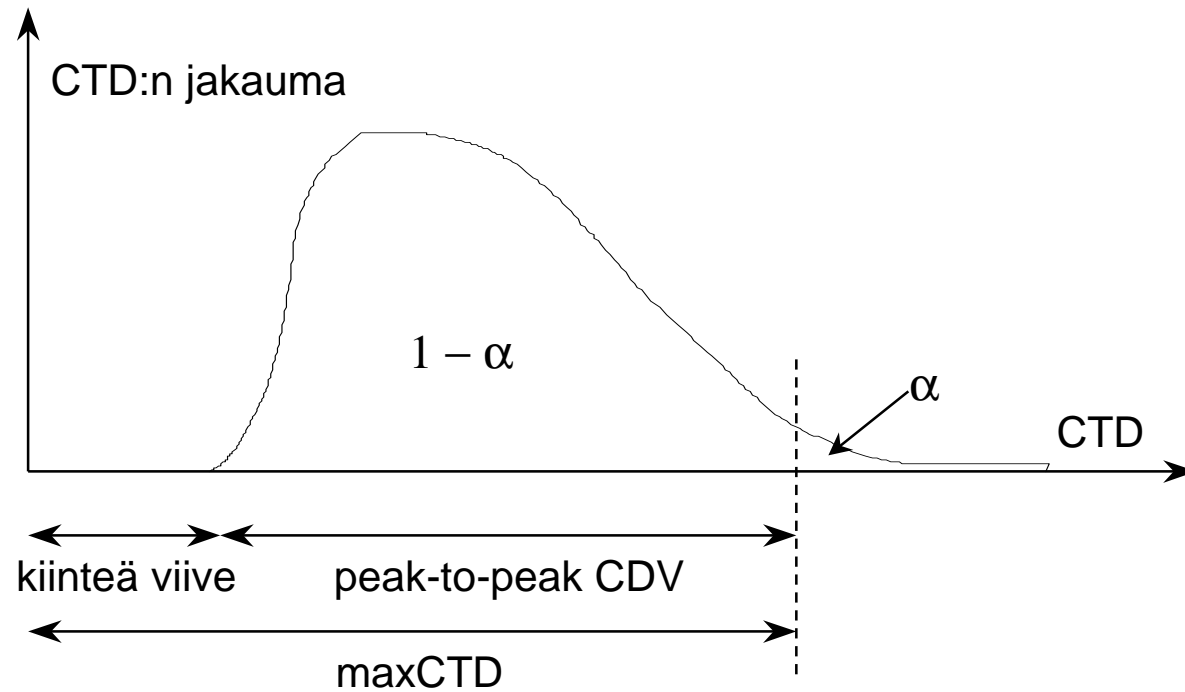
Viivetoleranssit

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

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

maxCTD ja peak-to-peak CDV



ATM-kerroksen palveluluokat ja parametrit

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

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:
Long term (hours - days)	<ul style="list-style-type: none"> • Resource Management using Virtual Paths 	
Connection duration (secs - mins)	<ul style="list-style-type: none"> • Connection Admission Control (CAC) 	
Round trip propagation time (ms)	<ul style="list-style-type: none"> • Fast Resource Management 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicit Forward Congestion Indication (EFCI) • ABR Flow Control
Cell insertion time (μs)	<ul style="list-style-type: none"> • Usage Parameter Control (UPC) • Priority Control • Traffic Shaping 	<ul style="list-style-type: none"> • Selective Cell Discard • Frame Discard

Source: [1]

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 suojelu ylikuormalta
 - yhteyden muodostusvaiheessa verkko päättää (kytkin kytkimeltä), hyväksytäänkö yhteyspyyntö vai hylätäänkö se
 - hyväksytyn 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

Reagoivat menetelmät (1)

- **Eksplisiittinen myötäsuuntainen 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 lähetyksnopeudet 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)

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

Sisältö

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

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

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 yhteys saa kaistaa (yhteyden aikana)

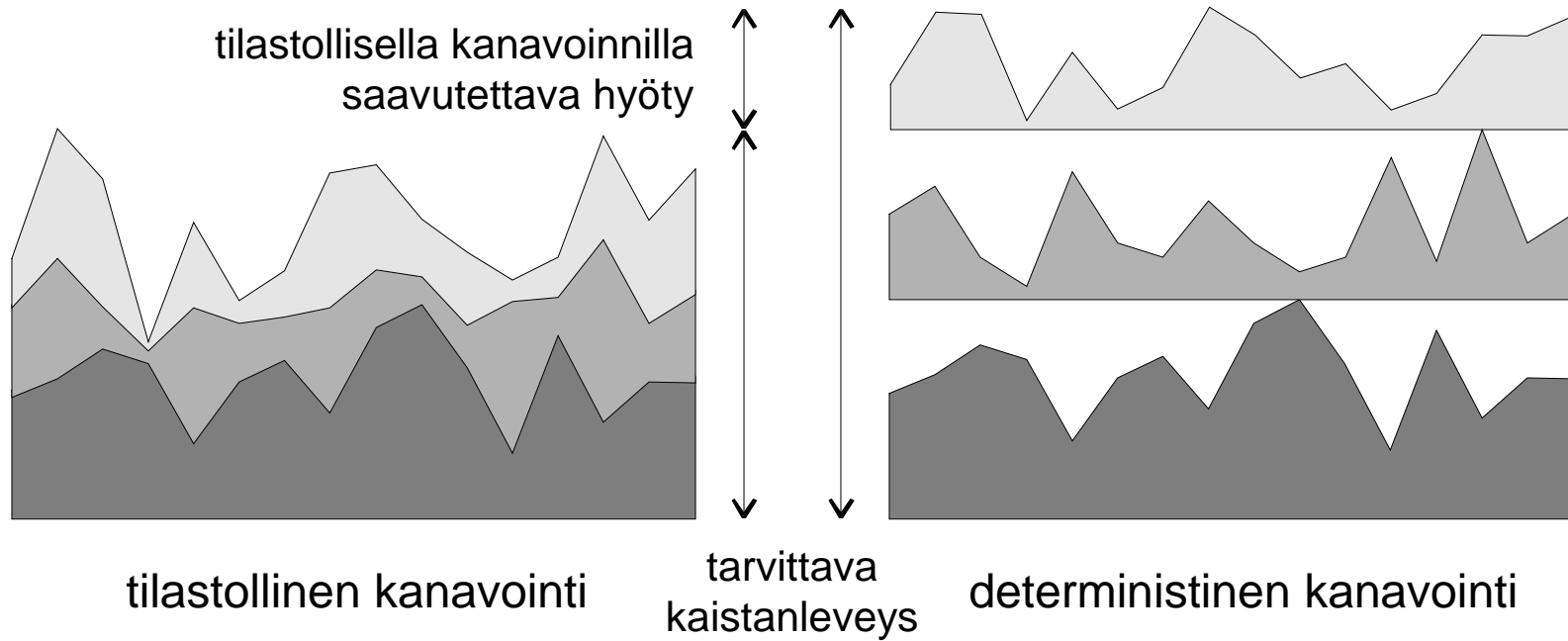
Esimerkki

- 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!

Efektiiivinen solunopeus

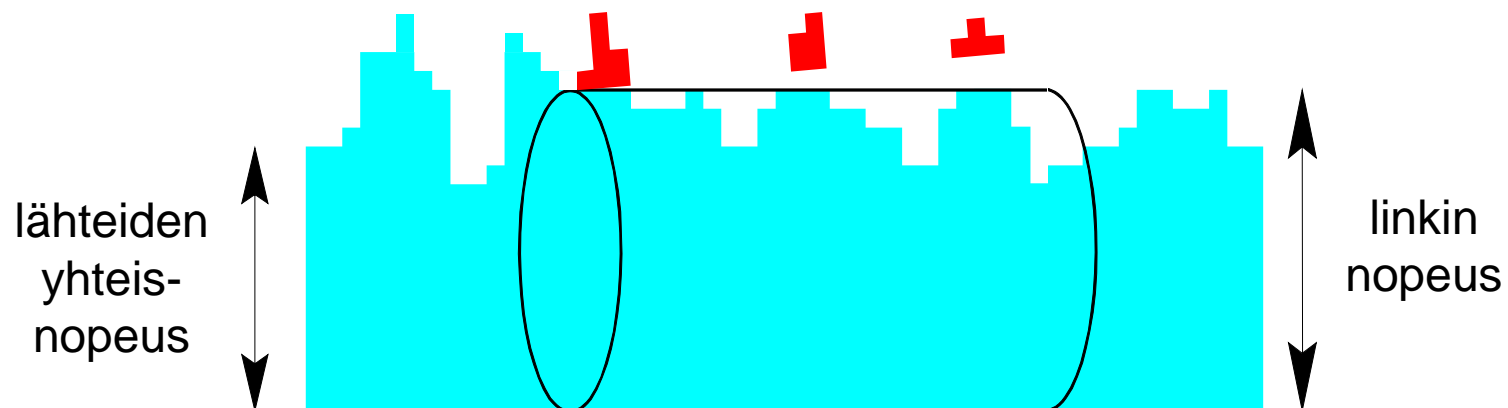
- Käyttökelpoinen ennen kaikkea VBR-palveluluokan yhteydessä
- Usein kutsutaan myös **efektiiiviseksi kaistaksi** (effective bandwidth)
 - tällöin yksikkönä pikemminkin bittejä sekunnissa (kuin soluja sekunnissa)
- Hyödynnetään tilastollisella kanavoinnilla saavutettavaa etua
 - kaistan tarvetta voidaan 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)

Tilastollisella kanavoinnilla saavutettava etu



Efektiivisen kaistan laskenta (1)

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



Efektiiivisen 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 efektiiivisen kaistan olennaisimmat piirteet:
 - pienenee lähteiden lukumäärän (linkin kapasiteetin) kasvaessa
 - lähestyy asymptoottisesti keskinopeutta

Esimerkki

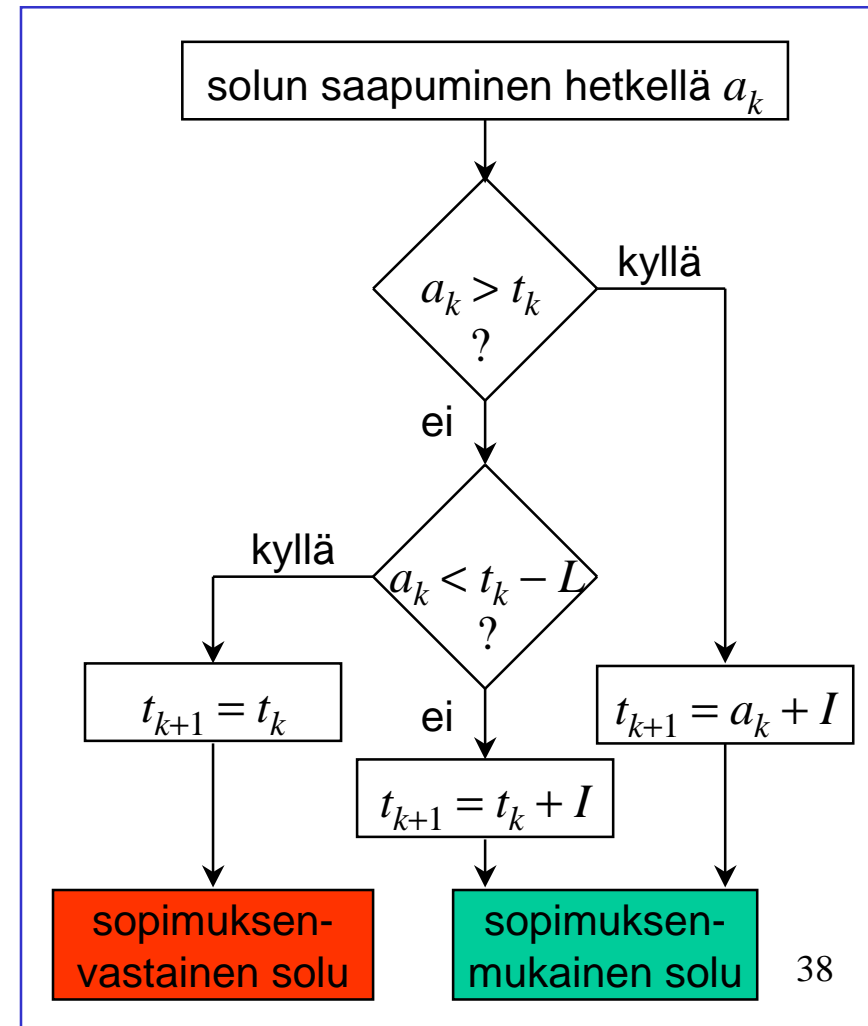
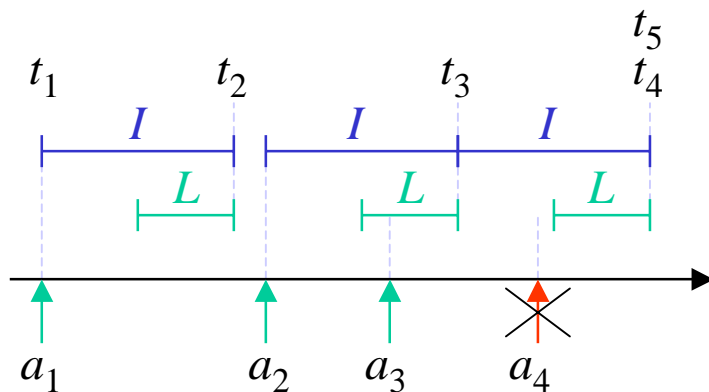
- Tarkastellaan sellaisia VBR-tyyppisiä lähteitä/yhteyksiä, joille
 - $m = E[R_i] = 32$ kbps, $v = \text{Var}[R_i] = (32 \text{ kbps})^2$
- Oletaan, että nämä VBR-yhteydet kulkevat samassa VP:ssä, jolle
 - $C = 2000$ kbps
- **Kysymys:** Montako tällaista yhteyttä CAC voi VP:lle hyväksyä, kun laatuvaatimus 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
 - $n^* = 39$
 - $e = C/n^* = 51$ kpbs

Yhteysparametrien valvonta (UPC)

- Tiedonsiirtovaiheessa UPC valvoo (käyttäjän ja verkon välisessä rajapinnassa) yhteyden liikennettä (soluvirtaa)
 - päästämällä läpi sopimuksenmukaiset (conforming) solut
 - merkitsemällä (tagging) alemmalle prioriteetille ($CLP = 0 \rightarrow CLP = 1$) 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 lähetysnopeutta 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:
 - $GCRA(1/SCR,BT) = GCRA(T_s,\tau_s)$

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 , $k = 1, 2, \dots$

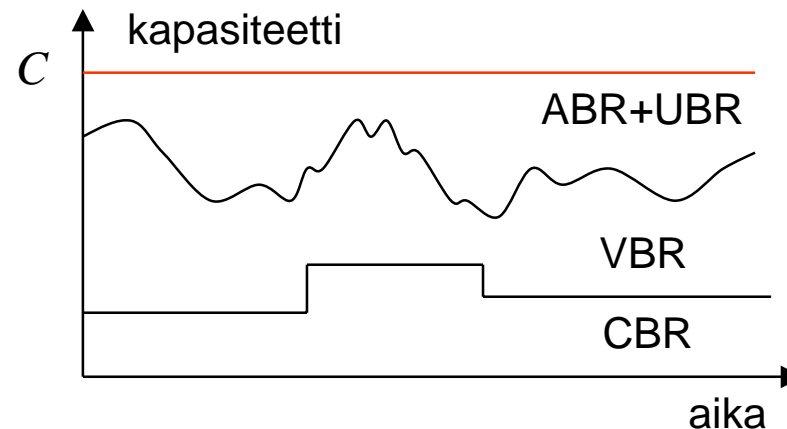


Sisältö

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

“Best Effort” -palvelut

- Palvelun laadun takaaminen CBR- ja VBR-yhteyksille edellyttää resurssien **dedikoointia**, 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

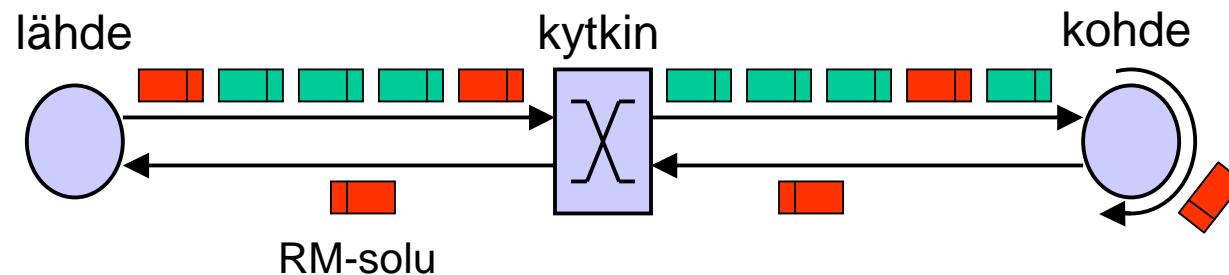


ABR-palveluluokan vuonohjaus

- 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
 - reagoien esim. puskurin täyttöasteeseen tai täyttöasteen muutokseen

Nopeuspohjainen vuonohjausmekanismi

- Lähde lähettää RM-soluja Nrm:n informaatioisolun välein
 - kertoen nykyisen lähetyksenopeutensa (CCR) ja haluamansa nopeuden (ER)
- Reitillä olevat kytkimet laskevat tämän perusteella reilin 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 lähetyksenopeutensa saatuun palautteeseen



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

